

50377
1986
201-1

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le titre de

docteur de 3^{ème} cycle

Spécialité . Géographie physique

Mention . Climatologie

par

SALOUJA

Sujet

**Contribution à l'étude de la variabilité
des précipitations et des bilans hydriques dans
le nord-ouest du MAROC**

Soutenue , le 21 Octobre 1986 devant la commission d'examen

Mr. BIAYS. P.	Professeur ,	Président
Mlle. DACHARRY. M.	Professeur ,	Rapporteur
Mr. PETIT-RENAUD. G.		Co-rapporteur
Mr. LHENAFF. R.	Professeur ,	
Mr. KERGOMARD CL.		

SCD LILLE 1



D 030 196678 7

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le titre de

docteur de 3^{ème} cycle

Spécialité . Géographie physique

Mention . Climatologie

par

SALOUJA

Sujet

**Contribution à l'étude de la variabilité
des précipitations et des bilans hydriques dans
le nord-ouest du MAROC**

Soutenue , le 21 Octobre 1986 devant la commission d'examen

Corrections faites après soutenance

Mr. BIAYS.P. Professeur ,

Président

Mlle. DACHARRY. M. Professeur,

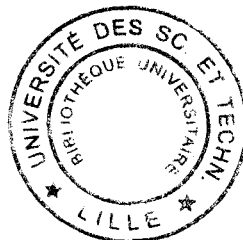
Rapporteur

Mr. PETIT-RENAUD. G.

Co-rapporteur

Mr. LHENAFF. R. Professeur,

Mr. KERGOMARD CL.



REMERCIEMENTS .

Le Présent travail a été effectué dans la Salle de Calculs de L'U.F.R. de Géographie, de l'Université des Sciences et Techniques de LILLE I.

Nous tenons à remercier vivement Mr. PETIT-RENAUD Gérard, notre directeur de recherche, maître-assistant à notre U.F.R., qui a élaboré les Programmes utilisés pour le traitement des données sur ordinateur et nous a suivi et encouragé tout au long de ce travail .

Nos sincères remerciements vont à :

- Mr. BIAYS Pierre, Professeur de Géographie, pour tous les conseils qu'il nous a apporté en vue de la bibliographie et des connaissances générales en matière de climatologie . Je lui adresse toute ma reconnaissance et le remercie de Participer à ma soutenance en tant que Président de jury .

- Mlle. DACHARRY Monique, Professeur à l'Université de Lille I, je tiens à dire combien j'ai apprécié ses conseils et les fructueux échanges d'idées au cours des séminaires qu'elle nous a donné . Je la remercie de Participer à ma soutenance .

- Mr. LHENAFF René, Professeur à l'Université de Lille I, pour sa Participation à notre soutenance et pour le soutien qu'il nous a apporté pendant notre séjour en France .

- KERGOMARD Claude, maître-assistant à l'U.F.R. de Géographie, qui nous a gentiment aidé à surmonter certains problèmes d'informatique . Je le remercie pour sa Participation à ma soutenance .

- Mr. SELASSI MOHAMMED, ingénieur à la Météo. Nat. de Casa-Blanca, qui nous a fourni gracieusement la grande partie des relevés mensuels .

- Mr. CHAOUI KHALID, de L'Q.R.M.V.A.L, qui nous a aidé

Pour avoir les relevés quotidiens des stations de Ghédira et de M'risaa .

- L'ensemble du Personnel, administratif et enseignant de l'U.F.R. de Géographie, en Particulier à Mme. HELCIR, Mr. et Mme. LONGY, Mme. DHEYGERE ...

TABLE DES MATIERES .

REMERCIEMENTS.....	1
INTRODUCTION.....	5
1- La Présentation des stations d'observations et des séries de mesures	8
1-1- La Présentation des stations d'observations	9
1-2- La Présentation des données disponibles	11
1-3- Les observations manquantes : les lacunes	13
1-4- Les méthodes d'estimation des données manquantes	15
1-5- L'étude de l'homogénéité des séries d'observations.....	20
2- L'étude des Précipitations mensuelles	29
2-1- La description spatiale de la Pluviosité	31
2-2- Les régimes Pluviométriques	39
2-2-1- Les régimes mensuels	41
2-2-2- Les régimes saisonniers.....	43
2-2-3- Les régimes Probables	50
2-3- la concentration saisonnière des Précipitations.....	53
2-4- L'étude de la variabilité	60
2-5- La description des séries des hauteurs mensuelles de Pluie	68

3- L'étude des précipitations quotidiennes	75
3-1- La description spatiale des séquences Pluvieuses et sèches	76
3-1-1- Les nombres de jours Pluvieux et secs	76
3-1-2- Les durées des séquences Pluvieuses et sèches.....	80
3-1-3- Les épisodes Pluvieux mensuels	81
3-2- La variabilité inter-annuelle :.....	86
3-2-1- Des nombres de jours de Pluie.....	86
3-2-2- Des séquences de différentes durées	90
3-3- Les intensités quotidiennes de Pluie	94
3-4- L'ajustement des séquences sèches et Pluvieuses	96
3-4-1- Le choix de la loi d'ajustement	96
3-4-2- L'ajustement des hauteurs quotidiennes de Pluie	103
3-4-3- L'ajustement des hauteurs quotidiennes extrêmes de Pluie	107
4- L'ETP ET LE BILAN HYDRIQUE	117
4-1- L'étude de l'ETP et du bilan hydrique	120
4-1-1- Les termes du bilan hydrique	120
4-1-2- Les méthodes de calcul de l'ETP.....	122
4-2- La conduite des méthodes employées	124
4-2-1- Les Problèmes du calcul de l'ETP.....	124
4-2-2- La formule retenue pour le calcul de l'ETP.....	127
4-2-3- Le problème de l'évaluation de la réserve utile.....	131
4-3- La description spatiale de l'ETP.....	133
4-4- La relation entre l'ETP et les différents éléments du climat.....	140
4-5- L'étude de la variabilité:	145
4-5-1- La variabilité de l'ETP.....	146

4-5-2- La variabilité du bilan climatique (P-ETP).....	150
4-5-3- Les bilans hydriques Pendant des années consécutives.....	156
4-5-4- Les régimes Probables du déficit d'évaporation (ETP-ETR).....	161
CONCLUSION.....	167
BIBLIOGRAPHIE	171

INTRODUCTION .

Depuis longtemps déjà il a été remarqué combien dans les Pays secs, l'irrégularité inter-annuelle était une des caractéristiques essentielles du climat, et pouvait avoir des conséquences aussi graves que l'aridité elle-même. Elle y présente en effet, des valeurs supérieures à celles des zones humides, et affecte, de surcroît, une pluviométrie qui est à la limite des valeurs suffisantes pour la vie humaine.

Cette variabilité a fait l'objet d'études et de cartographies dans un certain nombre de Pays (12, 21, 84, 97, 136, ...). Nous voudrions en présenter les données principales dans le cadre du nord-ouest marocain.

Plusieurs démarches sont possibles pour aborder ce problème. Pour notre étude, nous allons examiner d'abord, et après la présentation des stations d'observation et la critique des données de base, les précipitations mensuelles et leur variabilité inter-annuelle.

Ensuite, nous allons étudier les précipitations quotidiennes : variabilité et ajustement. Cette dernière étude permettra de tester la fiabilité des données d'un côté et de comprendre, avec plus de précision, l'état des précipitations dans notre région.

Finalement, nous allons étudier la variabilité des éléments majeurs du bilan hydrique.

Ceci dit, la réalisation de ce travail a rencontré -comme toute étude- des problèmes parmi lesquels :

-Celui du langage : Du fait que nous ne sommes pas habitués à traiter un sujet en langue française, des ambiguïtés peuvent apparaître dans les explications.

-Celui des données :Ce fut avec beaucoup de difficultés que nous avons pu avoir des renseignements et des relevés de mesures .Nous avons recopié manuellement les relevés quotidiens de Pluie à Casablanca et à Paris .

-L'étude des Précipitations quotidiennes et des bilans hydriques nécessite l'aide d'un ordinateur, d'où la difficulté pour un débutant en informatique

Finalement, ces obstacles furent tous surmontés grâce aux discussions avec les étudiants et surtout grâce aux aides et aux encouragements de notre directeur de recherche .Qu'il trouve ici l'expression de notre Profonde gratitude .

1- LA PRESENTATION DES STATIONS D'OBSERVATION ET DES SERIES
DE MESURES .

1-1-LA PRESENTATION DES STATIONS
D'OBSERVATION .

1-2-LA PRESENTATION DES DONNEES
DISPONIBLES.

1-3-LES LACUNES = LES OBSERVATIONS
MANQUANTES .

1-4-LES METHODES D'ESTIMATION DE DONNEES
MANQUANTES .

1-5-L'ETUDE DE L'HOMOGENEITE DES SERIES
D'OBSERVATION .

1-1- LA PRESENTATION DES STATIONS D'OBSERVATION .

La région intéressée par le présent travail est la partie nord-ouest du Maroc . Cette région est limitée grossièrement par les villes de Larache, Fès et Kénitra . Cette limitation nous a été imposée par l'existence des stations d'observation :

Au début, nous ne pensions étudier que le climat de la plaine du Gharb . Pour ce faire, nous avons cherché les stations d'observation publiant les relevés des éléments climatiques de cette plaine . Mais nous n'avons pu mettre la main que sur les relevés des stations de Kénitra, Sidi Sliman, Sidi Kacem et de Souk Larbaa . De ces quatre dernières, seule Kénitra effectue des mesures de plus de deux éléments météorologiques (température et précipitations) .

Une étude, intéressant toute la plaine du Gharb, basée sur quatre stations seulement ne peut pas être très précise . Pour cette raison, réseau de stations lâche, nous avons cherché des postes d'observations dans les environs les plus proches de la plaine . Et c'est ainsi que furent retenues les stations de Fès, Meknès, Larache, Kaar el Kébir, Quezzan, Ghédira et Tlata de Raissana . Parmi ces dernières, trois stations publient tous les éléments nécessaires au calcul de l'ETP d'après la formule de Penman (tableau n°1).

A côté de toutes ces stations d'observation, nous avons aussi retenu celles de Casa-Blanca et de Tanger . Soulignons que ces deux dernières ne font pas partie de notre réseau principal . Nous ne les avons retenues que comme stations de référence ; elles nous permettront de vérifier la fiabilité des données et de contrôler les résultats des autres stations .

Nous considérons ces deux dernières comme

stations de référence Parce qu'elles sont gérées par un personnel qualifié. Parce que leurs durées d'observations sont longues et recourent celles de toutes nos stations de base et Parce qu'elles sont équipées en appareils de mesure de tous les éléments climatiques intéressant notre étude .

Toutes les stations retenues sont figurées sur la carte n°1 .Un coup d'oeil sur cette dernière montre que notre réseau de stations s'organise selon deux triangles .Le Premier, Purement Gharbien, commence au nord du village de Souk Larbaa, passe par la ville de Sidi Kacem et rejoint enfin Kénitra .Ce triangle correspond donc aux limites naturelles de la Plaine qui sont : collines du Pré-Rif à l'est, le Moyen-Atlas et le Massif Central au sud , l'Océan Atlantique à l'ouest .Les trois angles du deuxième triangle correspondent aux stations de Tanger, de Fès et de Casa Blanca .Ainsi, on constate que le Premier triangle n'occupe qu'une simple place au centre du second .

Une étude basée sur cette répartition des stations dans le terrain pourrait exprimer la réalité du climat et permettrait la distinction entre les particularités climatiques de la Plaine littorale(Gharb), de la Plaine intérieure(Sais), du Plateau sableux (R'mel de Larache) et des collines du Pré-Rif (Ouezzan) (carte n°1).

Ceci dit, il est à signaler que le niveau d'équipement, la qualification du personnel, la durée des observations et l'importance des lacunes ne sont pas les mêmes pour toutes les stations .Pour cela, il paraît intéressant de présenter les données disponibles avant la critique et l'estimation des mesures manquantes .

1-2-LA PRESENTATION DES DONNEES DISPONIBLES .

Les séries de mesures, sur lesquelles se base notre étude, nous sont parvenues par différents organismes : le service de la Météorologie Nationale de Casablanca, l'Office National d'Irrigation, la Direction des Eaux et Forêts à Rabat, la Météorologie Nationale de Paris, ...Et quand c'était possible, nous avons recopié les relevés sur place .

En résumé, les périodes de mesure sur lesquelles nous avons pu mettre la main sont figurées sur les tableaux n°1 .

Sur ces derniers, on constate que les durées d'observation ne sont pas communes et que les éléments climatiques retenus sont de l'ordre de cinq .

Les périodes de mesures ne sont pas communes parce que la mise en service de certaines stations est récente (Fès et Ghédina, ...), ou bien parce que nous avons supprimé quelques années contenant trop de lacunes (Tlata de Raissana), ou bien, simplement parce que la station a cessé de fonctionner (Ksar el Kébir) .

Pour les éléments météorologiques retenus, nous n'avons gardé que ceux qui interviennent dans le calcul de l'ETP par la formule de Penman .

Il faut signaler que la plus grande partie des relevés mensuels que nous avons pu avoir était sous sa forme brute : nous avons reçu les températures minimales et maximales moyennes . Pour le vent et l'humidité relative, nous avons reçu des mesures prises à six heures, à douze heures et

à dix huit heures (1) .Donc, les données ainsi obtenues, nécessitaient un Premier traitement statistique Pour devenir directement utilisables dans notre travail .Pour cette raison, nous avons calculé la température mensuelle moyenne en divisant la somme des moyennes des maxima et des minima Par deux .Pour la vitesse du vent, nous avons Procédé de la façon suivante :

$$V = \frac{V6+2V12+V18}{4}$$

Où : V = la vitesse mensuelle moyenne du vent .
6, 12 et 18= les heures de la journée .

Cette même méthode, Permettant de calculer la vitesse mensuelle moyenne du vent, a été utilisée aussi Pour le calcul de l'humidité relative mensuelle .

Enfin, ce sont ces fichiers de mesures mensuelles moyennes, avec ceux des totaux mensuels des durées d'insolation et des hauteurs de Précipitations qui nous ont servi de base Pour formuler la suite des résultats du Présent travail .

(1)La vitesse du vent et l'humidité relative ne concernent que les stations disposant des relevés de ces éléments climatiques .

1-3- LES DONNEES MANQUANTES .

Toutes les lacunes contenues dans les séries des relevés des mesures des éléments climatiques ont été repérées et ensuite indiquées sur le tableau n: 2 et traduites sur la carte n: 2 .

A Propos de ces lacunes, nous pouvons signaler les remarques suivantes :

-Souvent, ce sont les petites stations comme celle de Ksar el Kébir, de Sidi Kacem et de Tlata Raissana qui Présentent le Plus de lacunes .La situation est ainsi Parce que ces stations sont loin des grandes ville. Donc, la réparation d'un appareil de mesure en Panne demande du temps .

-Une Part des lacunes peut s'expliquer Par les circonstances de l'indépendance(1) : avant 1960, Presque tous les agents responsables de Postes météorologiques étaient des étrangers .Donc, juste avant et un peu après l'indépendance, ces agents commencent à négliger la prise des mesures, ou bien emportent à leur départ définitif du Pays, des relevés de mesures .Ces circonstances expliquent les grandes lacunes des années soixante aux stations de Ksar el Kébir, de Sidi Kacem et de Tlata Raissana (2) .

(1)Les relevés des éléments du climat sont manquants entre 1961 et 1965 Pour la station de Sidi Sliman .Pour cela, nous avons divisé la série originale de la station en deux sous séries : 1937-1961 et 1965-1983 .

(2)Communication orale du responsable de la station d'observation de Larache .

-Des lacunes peuvent correspondre aux jours de vacances du seul agent responsable du petit Poste météorologique, ou bien aux jours fériés,...

-Certaines des lacunes récentes sont dues à l'organisation des archives .

-Il faut dire aussi qu'il y'a des données existantes mais que nous n'avons pas pu avoir parce que les moyens nécessaires ne nous sont pas disponibles .

En résumé, les lacunes sont mentionnées et il ne reste que le choix des méthodes convenables pour l'estimation des valeurs manquantes .

1-4- LES METHODES D'ESTIMATION DES DONNEES MANQUANTES .

La Présence des lacunes dans des séries de mesures est un Problème fréquent en climatologie .Mais il y a des méthodes qui Permettent la résolution de ce Problème .Seulement, selon les cas, il existe des méthodes Plus convenables Par rapport à d'autres (4,75....(1)).

Dans le cas du Présent travail, nous avons adopté la méthode de la régression linéaire .Ce choix a évidemment ses raisons Parmi lesquelles :

-L'étude est régionale, menée sur un terrain restreint .

-La distance entre deux stations voisines est de l'ordre de 30 Km en moyenne .

-La topographie du terrain n'est Pas trop contrastée ; entre les stations, le Plus grand écart en altitude est de 570 m (entre Ghédira et Fès) .

-La différence majeure existant entre les stations est celle de l'importance de la continentalité .

Vu les trois Premières raisons, et à certaines réserves Près, toute notre région devait recevoir des influences climatiques communes .Autrement dit, si un jour est Pluvieux sur une station, il y a de fortes chances Pour qu'il Pleuve aussi sur les stations voisines .De ce fait, une bonne corrélation linéaire étaient attendue entre les stations de notre région et Pour de nombreux éléments du climat .

Tel est le raisonnement qui nous a enfin incité, à adopter la méthode de la régression linéaire simple Pour estimer nos valeurs manquantes .

(1)Les nombres entre Parenthèses renvoient aux numéros d'ordre de la bibliographie .

Selon cette méthode, "Y" est acceptée comme valeur estimée pour combler une lacune quand le coefficient de corrélation calculé est supérieur à celui donné par la table à un seuil choisi .

Pour les formules de la régression linéaire, de la méthode des moindres carrés, du coefficient de corrélation et de "T" de Student, veuillez voir notre annexe statistique .

Pour la présente étude, en plus du respect des conditions objectives qu'impose l'emploi du coefficient de corrélation, d'autres mesures ont été prises pour accepter des valeurs estimées (1) . Parmi ces mesures il y a :

-En premier lieu, la corrélation a été cherchée entre les séries de distributions des stations les plus proches, et pour un même élément climatique, bien entendu . À cette condition, la corrélation est souvent bonne, surtout pour les températures . Et c'est quand la corrélation est faible que nous avons essayé la corrélation entre des stations plus lointaines .

-De toutes les valeurs estimées, nous n'avons retenu, sauf très rares exceptions, que celles dont les coefficients de corrélation calculés sont supérieurs à ceux donnés par la table au seuil de 95 % . Les exceptions

(1) Accepter une corrélation entre deux stations voisines nécessite de la part de ces deux dernières une période de mesure commune, des conditions géographiques semblables et les mêmes appareils de mesure .

correspondent à deux cas ; celui de Larache-U et celui de Fès-P . Ces deux derniers cas sont acceptés malgré leurs coefficients de corrélations relativement faibles car ils possèdent d'autres critères que nous allons voir après et qui les qualifient de bons .

Quand une probabilité de se tromper de 10 % est admise, toutes les valeurs estimées qui figurent sur nos tableaux n° 2 ont un coefficient de corrélation calculé supérieur à celui donné par la table .

-L'adéquation des valeurs estimées a été prouvée en plus, par le test de Student (1) . Pour chaque valeur estimée, nous avons calculé "T" de Student et nous n'avons gardé que les valeurs estimées dont "T" calculé est supérieur à celui donné par la table au seuil de 95 % .

-Pour toutes les valeurs estimées retenues, nous avons calculé l'intervalle de confiance à 95 % (5, p:216) . En résumé, l'intervalle de confiance n'atteint jamais + ou - 3 degrés C. Pour les températures . Par contre pour les précipitations, il devient relativement considérable , ce qui d'ailleurs est normal, le climat méditerranéen n'est-il pas connu par sa très grande variabilité des précipitations ?

(1) C'est le test qui a prouvé que les valeurs estimées pour Larache-U et Fès-P sont correctes .

-Les valeurs estimées par la méthode de la régression linéaire serviront pour le calcul de l'ETP (1) comme on verra plus loin. Pour cette raison, nous voulons connaître la marge d'erreur qu'on pourrait commettre sur l'ETP en basant nos calculs sur des valeurs estimées. Pour ce faire, nous avons pris une mesure basée sur la précédente (l'intervalle de confiance) et n'intéressant que la température (2). Cette mesure est la suivante :

L'intervalle de confiance calculé précédemment a deux bornes, une supérieure et une autre inférieure. A chacune des deux valeurs représentant les deux bornes nous avons calculé l'ETP d'après la formule de Thornthwaite. Après, nous avons cherché la différence entre ces deux ETP (3). Et, pour l'ensemble de ces différences, nous pouvons signaler les remarques suivantes :

-A l'échelle annuelle, la somme des différences mensuelles, entre les ETP supérieures et inférieures des mêmes mois dont les valeurs de la température sont estimées, n'est jamais grande ; il y a une importante compensation entre les mois en matière d'ETP.

-Quand on avait affaire à un mois d'été, la différence entre les deux ETP annuelles ne devait jamais dépasser 1%. Ceci parce que la formule de Thornthwaite est basée essentiellement sur la température et parce que, dans notre région, l'été est la saison pendant laquelle les plantes ont le plus besoin de l'eau.

(1)ETP = L'évapotranspiration Potentielle .

(2)De tous les mois dont les relevés sont manquants .

(3)La différence s'obtient par la formule :

$$X1 - X2$$

$$----- * 100$$

$$X2$$

-En moyenne, un intervalle de confiance de l'ordre de + ou - 1 degré C. donne une différence en ETP annuelle qui varie, selon les régions, entre 0,05 et 3 % .Donc, une valeur estimée dont l'intervalle de confiance est de l'ordre de + ou - 3 degrés C. peut être acceptée(dans la mesure où l'erreur sur l'ETP ne paraît pas dépasser 10 %).

-La dernière des mesures prises pour prouver qu'une valeur estimée est bonne est celle de l'estimation des valeurs existantes : supposons qu'on a une station dont le fichier des températures contient des lacunes .On cherche la corrélation entre cette dernière station et une autre qui est voisine .Alors, si la corrélation est bonne et si "T" de Student calculé est supérieur à celui donné par la table, on estime quelques-unes des valeurs existantes .Et c'est quand la différence entre les valeurs observées et estimées est faible qu'on estime les valeurs vraiment manquantes .

En respectant toutes les conditions et mesures précédentes, nous pensons que les risques d'erreur sur nos valeurs estimées sont réduites à leur minimum .

1-5-L'HOMOGENEITE DES SERIES D'OBSERVATIONS .

Certaines de nos séries contiennent des valeurs estimées .Donc, on peut se demander si l'introduction de ces dernières ne peut pas entraîner une hétérogénéité de nos séries .Pour répondre à cette question, il nous faut trouver un moyen pour prouver que nos séries sont (ou ne sont pas) homogènes .Ce moyen, s'il existe, pourrait répondre aux curiosités des étudiants doutant de la fiabilité des relevés des éléments du climat marocain .

Les méthodes permettant de savoir si une distribution est homogène sont nombreuses et peuvent être classées en deux groupes : le groupe des méthodes comparatives (graphiques et statistiques) et celui des méthodes mathématiques (151) .

Dans le cas où l'application d'un test met en doute l'homogénéité d'une série, il faut chercher la cause de cette hétérogénéité ; chercher si l'hétérogénéité est due à une erreur humaine ou simplement à une évolution normale du climat .Dans le second cas, on ne cherche pas à homogénéiser la série .

Il faut signaler que selon la nature de l'élément climatique, il y a des tests qui sont plus adéquats que d'autres .

Pour tester la fiabilité de nos séries de précipitations, nous avons appliqué les méthodes suivantes : la méthode des diagrammes cumulatifs (57), la méthode de la comparaison des totaux annuels cumulés (52) et le critère de ABBE (5) . Concernant les séries des autres éléments climatiques, nous avons appliqué le test d'homogénéité des variances de BARTLETT

Les résultats de l'application de ces tests

sont indiqués sur les figures n° 1 à 3 et sur les tableaux n° 3 à 5 .

Tout d'abord, et avant l'interprétation des résultats, il paraît intéressant de présenter les méthodes qui nous ont servi de test d'homogénéité :

1-5-1-La méthode de diagrammes cumulatifs :
Pour cette méthode, connue et simple, nous renvoyons à la bibliographie n° 57 .

1-5-2-La méthode de la comparaison des totaux cumulés annuels : C'est la méthode souvent appelée improprement "méthode de double masse" .

Cette méthode est comparative, elle permet de détecter l'homogénéité d'une série B par rapport à une série A .

L'application de cette méthode nécessite, entre autre, de la part des deux stations, une situation dans une même région climatique, une faible distance et un terrain qui n'est pas trop montagneux ...

Cette méthode consiste à porter sur un graphique orthométrique, en abscisses, les hauteurs annuelles cumulées "H.A" d'une station "A" dont les relevés sont jugés au préalable homogènes, et de mettre en ordonnées les précipitations annuelles cumulées d'une autre station "H.B" ou "H.C" ...En suite, de faire le pointé des valeurs correspondantes de la station "A" ou de la station "B" ou "C" ...A côté de chaque point, on peut noter le millésime .En fin, on peut joindre tous les points obtenus ; ce qui donne une ligne se rapprochant plus ou moins d'une droite .C'est le cas si les relevés sont homogènes . Dans le cas contraire, la droite change brusquement de pente à partir de l'année où les relevés perdent leurs homogénéité .

1-5-3-Le critère d'ABBE : Plus convaincant est le critère d'Abbe .Ce dernier recommande des intervalles de confiances trop rigoureux ; il pourrait conduire dans Près de 38 % des cas à rejeter comme non-homogènes des séries qui sont en fait relativement homogènes .

Ce critère sera, donc, une Preuve solide de la -où bien de la non- homogénéité de nos distributions .

Ce test consiste à calculer les déviations (Z_{ti}) entre les N valeurs correspondantes de deux stations (1) .Ensuite, il consiste à chercher la différence $d_i = Z_{ti} - Z_t$ (où Z_t est la moyenne des déviations) .Et, enfin, calculer les sommes A et B .

$$A = \sum (d_i)^2 \quad \text{et} \quad B = \sum (d_i - d_{i+1})^2$$

où \sum = la somme .

Admettant que $Q_1 = 1 - \text{SQR}(1/N)$, $Q = (2A/B)$ et $Q_2 = 1 + \text{SQR}(1/N)$, avec SQR qui signifie la racine carrée , quand $Q_1 \leq Q \leq Q_2$ on conclut que les deux séries en question sont vraisemblablement homogènes .(5)

1-5-4-Le test d'homogénéité des variances de BARTLETT : Ce test est basé sur l'analyse des variances de Plusieurs échantillons .Le résultat de ce test est indépendant des différences entre les moyennes .L'Utilisation de ce test consiste à découper une longue série en sous séries, et à comparer ensuite les variances de ces dernières .

(1) Pour des éléments climatiques comme les Précipitations, l'insolation..., on opère sur les rapports et pour des éléments comme la température, l'humidité relative..., on opère sur les différences .

Le degré d'homogénéité de la série s'apprécie par un test qui s'appuie sur la distribution de Khi-Deux pour un nombre de degrés de liberté égal au nombre d'échantillons (sous-séries) moins un. Cette valeur calculée est ensuite comparée à une valeur théorique dans la table de Khi-Deux correspondant au seuil de signification choisi. Si la valeur calculée est inférieure à celle donnée par la table, on considère que la série est vraisemblablement homogène (137). Un exposé de cette méthode est présenté dans la bibliographie no:5, p:173.

Après la présentation de ces quatre méthodes, nous passons à l'interprétation des résultats.

- Les figures no:1 : Ces dernières présentent les résultats obtenus par la méthode de diagrammes cumulatifs.

Sur ces dernières figures, nous constatons que, d'une façon générale, les tracés de lignes s'approchent plus ou moins des droites. Ceci signifie que nos séries sont vraisemblablement homogènes. Mais, il reste, tout de même, quelques petites remarques à signaler :

- En 1958, la station de Tlata-R. présente une petite "cassure" (1). La même année, on trouve aussi une "cassure" sur les séries des stations de Sk.Larbaâ, de Ksar el Kébir et de Méknès. Mise à part Méknès, les trois autres stations ont un caractère commun : elles sont loin de la mer d'environ 20 Km.

(1) La Division de Climatologie Générale ne publie pas de renseignements concernant les changements d'appareils de mesures, des sites des stations d'observations ou bien des agents ...

-L'année 1967 présente de très petites "déviations" sur les séries des stations de Fès, de Tlata-R. et de Sd.Sliman-2 .

-Sur les lignes représentatives des stations de Larache, de Méknès, de Tlata-R. et d'Ouezzan, l'année 1971 indique de petites "inclinaisons" .

D'une façon générale, vu la faiblesse des ruptures de pentes de certaines "droites", et en considérant la grande variabilité qui caractérise les précipitations méditerranéennes (1), on peut accepter comme homogènes toutes les séries que présentent les figures n° 1 .

Les mêmes séries de précipitations ont subi un deuxième test d'homogénéité ; c'est celui de la comparaison des totaux cumulés annuels dont les résultats sont indiqués sur les figures n° 2 .

Signalons, tout d'abord, que pour l'application de ce test, nous avons pris Casablanca comme station de référence .

Le choix de Casablanca comme station de référence est basé sur le fait qu'elle est gérée par un personnel qualifié . Sa durée d'observation recoupe celle de toutes les autres stations, elle est le siège des archives de la documentation nationale en matière de climatologie et sa pluviosité s'approche au même temps de celle des stations du littoral et de celle des stations de l'intérieur .

(1) Comme nous verrons plus loin .

Les coordonnées des figures n:2 sont décalées en fonction de la Première année de Prise de mesure qui n'est Pas toujours commune Pour toutes les stations .

A Propos de ces dernières figures, nous signalons les remarques suivantes :

-Mise à Part la station de Larache, ces dernières figures représentent une deuxième Preuve de l'homogénéité des relevés des Précipitations ; toutes les "lignes" sont droites où Presque .

-Concernant Larache, nous nous sommes renseigné auprès du responsable qui dirige la station depuis 1962 . Il nous a répondu que le Pluviomètre n'a Pas subi de changement notable .

Cette situation nous a incité à Procéder à un deuxième contrôle en utilisant cette fois-ci une autre station de référence .Ainsi, nous avons choisi, comme station de référence, celle de Kénitra, qui, en Plus de sa bonne corrélation avec la station de Larache en matière de Pluviosité (1), est relativement moins loin que celle de Casablanca .

Le résultat de ce contrôle est Présenté sur la figure n: 3 . Sur cette dernière, nous avons doublé l'échelle Pour que le résultat soit Plus clair .

(1)Ce que nous avons constaté en cherchant les corrélations entre les stations Pour estimer les mesures manquantes (les lacunes) .

-En comparant les deux figures (figures n° 2 et 3), nous constatons que l'allure générale des lignes représentatives de Larache est la même, mais la rupture de la pente de la deuxième figure (figure n°3) est beaucoup moins accentuée que celle de la première. Ceci revient à dire que, peut-être par effet de la distance, Kénitra est mieux placée que Casablanca pour tester la fiabilité des séries de mesures à Larache. Finalement, on peut considérer la série de Larache comme vraisemblablement homogène.

Pour ne laisser aucun doute sur la fiabilité, nous avons appliqué le test d'homogénéité des variances de Bartlett à la série des précipitations de Larache. Le résultat de ce test est présenté sur le tableau n° 3.

Une simple lecture de ce tableau montre que le Khi-Deux calculé est de loin, inférieur à celui donné par la table (1) au seuil de 95 % (2). On conclut donc que notre série est homogène.

Le dernier moyen utilisé pour tester l'homogénéité des séries de précipitations est le critère d'Abbe. Le résultat de l'application de ce dernier est indiqué sur le tableau n° 4.

Signalons que nous avons toujours pris Casa-Blanca comme station de référence (pour calculer les déviations entre les valeurs correspondantes des stations). Ce choix est bien sûr guidé par les qualités citées précédemment concernant Casablanca.

(1) Là, nous travaillons à l'échelle annuelle et non mensuelle.

(2) Pour la table de Khi-Deux, voir notre annexe statistique.

Nous constatons sur le tableau n° 4 que, mises à part les stations de Fès et de Sd.Sliman-1, les valeurs de "Q" sont comprises entre celles de "Q1" et de "Q2". Donc, nous sommes convaincus que dix distributions sur 12 sont homogènes.

Pour les deux stations restantes, Fès et Sd.Sliman-1, nous constatons que la différence n'est pas bien grande entre "Q" et "Q2" ; elle est de 0,042 à Fès et de 0,216 à Sd.Sliman-1.

Les deux tests d'homogénéité utilisés précédemment n'ont rien signalé d'anormal pour ces deux distributions. En plus, comme la différence entre "Q" et "Q2" est faible et que le critère d'Abbe est connu par la sévérité de son intervalle de confiance, nous ne pouvons pas rejeter comme non homogènes nos deux séries.

Concernant les autres éléments du climat, nous avons étudié l'homogénéité de leurs distributions à l'aide du test de Bartlett. Les résultats de l'application de ce test sont indiqués sur le tableau n° 5.

Signalons que ce test est appliqué en même temps, aux distributions de valeurs mensuelles et annuelles.

La lecture des tableaux 5 se fait directement en comparant les Khi-Deux calculés (indiqués sur les tableaux) avec les Khi-Deux théoriques (donnés par la table). Et à chaque fois que le Khi-Deux calculé est inférieur à celui donné par la table au seuil de 95 %, on conclut que la série est vraisemblablement homogène. Ce qui est le cas de toutes nos séries.

Finalement, nous constatons que l'emploi de tests différents conduisait presque au même résultat ; celui

de l'homogénéité vraisemblable de nos séries de mesures.

Donc, nous concluons que l'introduction de valeurs estimées dans nos séries de mesures n'a vraisemblablement pas entraîné d'hétérogénéité de ces dernières .

L'homogénéité de nos séries de mesures étant prouvée, elles nous serviront pour étudier les précipitations et le bilan hydrique dans le nord-ouest marocain .

2- L'ETUDE DES PRECIPITATIONS MENSUELLES .

INTRODUCTION .

2-1- LA DESCRIPTION SPATIALE DE LA
PLUVIOSITE .

2-2- LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES .

2-3- L'ETUDE DE LA CONCENTRATION .

2-4- L'ETUDE DE LA VARIABILITE .

2-5- INTRODUCTION A LA MODELISATION .

CONCLUSION .

2- L'ETUDE DES PRECIPITATIONS MENSUELLES .

INTRODUCTION .

Dans cette partie nous envisageons d'étudier différents aspects de la Pluviosité annuelle et mensuelle dans la partie nord-ouest du Maroc . Nous allons commencer, tout d'abord, par une description spatiale de la Pluviosité . Cette description nous permettra de localiser les régions dont la Pluviosité est relativement importante par rapport aux autres . Ensuite, nous proposons d'étudier la façon dont les précipitations se répartissent au cours de l'année, c'est à dire les régimes pluviométriques . Ces derniers nous permettront de classer les mois et les saisons selon l'ordre de leurs Pluviosités . Ensuite, et pour déterminer le poids du trimestre le plus arrosé dans la Pluviosité annuelle, nous allons étudier la concentration saisonnière des précipitations . Et pour finir, nous allons chercher la variabilité, d'une année sur l'autre, des hauteurs annuelles et mensuelles de pluie , sujet intéressant les projets d'aménagement agricole .

2-1- LA DESCRIPTION SPATIALE DE LA PLUVIOSITE .

Au début, nous voulons signaler, brièvement, deux remarques concernant la neige et le brouillard .

-La neige est un élément rare dans notre région ; trois stations seulement (Fès, Meknès et Ouezzan) peuvent connaître quelques chutes par décade (carte n°6 et bibliographie n°109) .

Cette rareté de chute de neige peut s'expliquer par les faibles altitudes de notre région et par les effets maritimes adoucissant le climat en hiver .

-Le brouillard : Il a un rôle important dans la mesure où il réduit l'ETP des régions littorales pendant les mois d'été, comme nous le verrons plus loin .

Cet élément n'est pas inconnu dans notre région, mais sa fréquence est faible et croît en allant vers le sud et vers l'arrière-pays (1) .

L'été est la saison qui enregistre le plus de jours de brouillard (38-55) .

Le tableau ci-dessous et la carte n°7 récapitulent ce que nous venons de signaler .

(1)Elle croît en s'éloignant de la mer jusqu'à une distance de 20 Km où elle commence à décroître .Ceci est vrai quand il n'y a pas d'obstacles orographiques .

 Stations | Période | été | année | % été

Tanger	!1954-73	!5.1	! 10.7	!48
Larache	!1962-73	!21.2	! 45.3	!47
Kénitra	!1954-73	!13.9	! 57.4	!24
Casa-B	!1954-73	!13.2	! 36.1	!37

Source=Bibliographie no:38

été = Nombre de jours de brouillard en été

année = = = = = Par année .

% d'été= % d'été dans L'année .

Pour revenir au sujet de la description, nous avons calculé les hauteurs annuelles et mensuelles moyennes de Précipitations indiquées sur le tableau n°6 .Les premières remarques qui sautent aux yeux sont les suivantes (1) :

2-1-1-Les hauteurs annuelles de Précipitations .

-Les régions se situant au nord d'une ligne joignant Kénitra à Ouezzan reçoivent plus de pluie que celles se situant au sud de cette ligne .

-Les facteurs géographiques influençant les Précipitations sont l'exposition aux influences maritimes, la proximité de la mer et l'altitude .Et par ordre d'importance, la proximité de la mer vient après l'exposition et avant l'altitude .

 (1)La station de Ghédina est considérée avec attention, car sa période d'observation est courte et correspond aux années relativement sèches qu'a connu le Maroc entre 1977 et 83, comme nous le verrons plus loin .Nous avons retenu cette station car elle dispose des relevés quotidiens qui nous serviront plus loin .

Ainsi, les stations de Quezzan et de Tlata.R. dont les altitudes sont respectivement de 146 et de 23 m, reçoivent plus de pluie que Fès et Meknès dont les altitudes respectives sont de 580 et 530 m (carte n°1) .

La station de Fès, vu sa situation d'abri entre les chaînes montagneuses du Moyen-Atlas et du Rif, reçoit moins de pluie que Meknès, relativement bien ouverte aux influences de la mer .

Les stations de Larache et Kénitra, se situant à proximité de la mer, occupent la cinquième et la sixième place par ordre de pluviosité, loin après celle de Quezzan, mieux exposée aux vents d'ouest .

Pour éclaircir la variation spatiale de précipitations, nous avons utilisé la méthode suivante :

$$\frac{X_i - X}{X} \times 100$$

Où X_i = la hauteur annuelle moyenne d'une station donnée .

X = = = = = de la station standard .

Comme station standard, nous avons pris SK.Larbaâ .Et ceci pour les raisons suivantes :

-Sa série de mesures ne contient pas beaucoup de valeurs estimées .

-Elle peut être bien représentative par sa position au milieu de la région intéressée par ce travail et par sa hauteur annuelle moyenne se situant entre le maximum d'Quezzan et le minimum de Casablanca .

-Les durées d'observation n'étant pas

toujours communes, gênent la comparaison. Mais puisque la méthode s'applique aux moyennes, ces durées différentes ne peseront pas beaucoup sur les résultats.

L'application de la méthode citée ci-dessus a donné le résultat figurant sur le tableau n°7.

En examinant ce dernier, nous constatons que les rapports des stations par rapport à celle de SK.Larbaâ sont de :

-28 %	Pour Casa-Blanca .
-26 %	= Sd.Sliman-1 .
-21 %	= = = 2 .
-14 =	= = Kacem .
-12 =	= Fès .
-6 =	= Ghédira .
-2.6=	= Méknès .
-0.5=	= Kénitra .
19 =	= Larache .
25 =	= Tanger .
26 =	= Ksar.Kébir .
36 =	= Tlata Naissana .
46 =	= Ouezzan .

-On remarque donc, que la variabilité spatiale est généralement de moyenne à faible ; elle varie entre -28 et 46 % par rapport à la pluviosité de SK.Larbaâ .

-Ghédira mise à part, toutes les stations présentant des écarts négatifs par rapport à SK.Larbaâ, se situent au sud de cette dernière. Ceci confirme un résultat signalé précédemment : celui du rôle de l'exposition et de la proximité de la mer .

Finalement, les précipitations annuelles diminuent en allant vers le sud et vers le sud-est de notre région .

2-1-2- Les Précipitations saisonnières .

Pour étudier ces dernières, nous avons décomposé l'année en quatre saisons de trois mois : l'hiver commence par décembre, le Printemps par mars... Puis nous avons calculé les hauteurs saisonnières moyennes indiquées sur le tableau n°7 et dressées sur les figures n°4.

Un regard sur ces derniers permet de dégager les remarques suivantes :

-Les régions loin de la mer reçoivent plus de pluie en été par rapport aux régions du littoral : Fès reçoit en moyenne 21,3 mm contre 6 mm seulement à Kénitra ... Cette situation peut s'expliquer par les pluies orageuses caractérisant l'arrière-pays pendant cette saison .

-Pour toute notre région, l'hiver, suivi par le Printemps, est la saison recevant le plus de pluie . Cette remarque peut s'expliquer, entre autre, par la fréquence relativement élevée, pendant cette saison, des masses d'air d'origine polaire ou arctique (122) sur notre région .

-La différence en hauteur de pluie entre l'hiver et le Printemps dans les plaines (Sais et le Gharb) est inférieure par rapport à celle du plateau sableux du R'mel de Larache et du Pré-Rif (ouezzane) (carte n°1) . Cette infériorité est surtout due aux précipitations hivernales relativement plus faibles sur les plaines que sur les autres régions ; sur les plaines, les précipitations moyennes hivernales ne dépassent jamais 294 mm (SK.Larbaâ) alors que sur les autres régions, elle sont toujours supérieures à 340 mm .

-Partout la différence est faible entre les précipitations du Printemps et celles d'automne .

Généralement, les différences spatiales entre nos régions ne sont pas trop considérables ; toutes les stations présentent des diagrammes de type méditerranéen .

Pour concrétiser cette appartenance méditerranéenne, nous avons dressé des diagrammes pluviothermiques présentés sur les figures n°5 . Ces derniers sont dressés selon les principes de Gausson (67), souvent utilisés en Afrique du Nord où ils s'adaptent bien .

Ces derniers diagrammes affirment d'abord les remarques signalées précédemment et ensuite, soulignent les différences existant au sein d'une même saison : février par exemple, reçoit souvent moins de pluie que les autres mois de sa saison (hiver) (1) .

De ce fait, il paraît raisonnable de réduire l'échelle et d'étudier la répartition des précipitations mensuelles .

2-1-3-Les précipitations mensuelles.

En regardant ces dernières figures n°5 , nous constatons que :

(1) A part les stations se situant loin vers l'est (Fès, Sd.Kacem et Sd.Sliman) Le cas de ces dernières sera étudié avec les régimes pluviométriques .

-L'été est la saison la plus sèche : Fès à part, le mois de juillet ou bien d'août ou bien les deux n'enregistrent, en moyenne, aucune goutte de pluie .

Les hauteurs de précipitations qu'a enregistré Fès, station la plus loin vers l'est, pendant ces deux derniers mois, sont respectivement de 2,4 et de 2,9 mm .Et rappelons que ces deux valeurs, qui ne sont que des moyennes, cachent un détail ; normalement, même à Fès, les précipitations des mois d'été ne s'éloignent pas beaucoup de 1 mm .Mais il arrive, une fois sur quelques années, que les précipitations dépassent le seuil de 17 mm (août 1982 : 17,6 mm) .Et ce sont ces mois estivaux, exceptionnellement pluvieux qui élèvent les moyennes des stations se situant loin vers l'est .Cette "sécheresse" d'été qui caractérise, toute notre région, pourrait s'expliquer par les hautes pressions subtropicales, toujours présentes en altitude pendant cette saison, qui constituent une barrière quasi impénétrable pour l'air polaire, moteur des pluies sur toute l'Afrique du Nord (122) .

-Novembre est le mois qui reçoit le plus de pluie sur les régions de l'intérieur (Fès et Sd.Kacem) .Décembre est le mois le plus pluvieux pour le reste des régions .Meknès, vu sa bonne exposition aux vents maritimes et malgré sa situation loin vers le sud-est, fait partie de ce deuxième groupe .Nous remarquons, à certaines réserves, un retard du mois de maximum de pluie sur les régions non proche de la mer .

-Les régions de l'intérieur (Fès, Meknès, Sd.Kacem et Sd.Sliman-2) se caractérisent par deux maximums pluviométriques : le premier en novembre où en décembre et le deuxième en février où en mars .Les régions du littoral se caractérisent par un seul maximum en décembre ou en janvier .Et le maximum enregistré par les stations du littoral est

toujours supérieur, en hauteur de Précipitations, à celui des stations de l'intérieur .

Pour conclure, nous pouvons dire que les Précipitations dans notre région, comme dans toute l'Afrique du Nord, semblent essentiellement dépendre de la structure du flux en altitude (122) .Ainsi les Pluies hivernales, dans notre région, résultent de l'accélération de la vitesse zonale sur la zone tempérée, et de la translation corrélatrice des cyclones vers le sud (Jet-Stream déporté vers l'équateur).Par contre, en été, la sécheresse peut s'expliquer par le débordement des hautes Pressions subtropicales, en altitude, qui bloquent l'arrivée des coulées froides, génératrices de Précipitations .

Le rôle des facteurs géographiques (exposition, proximité de la mer, altitude...) n'est pas totalement absent, mais il vient après celui de la circulation en altitude .Ces éléments géographiques peuvent expliquer la Pluviosité annuelle relativement élevée pour les régions se situant au nord de SK.Larbaâ, le décalage du maximum Pluviométrique vers décembre ou janvier pour les régions du littoral, la Pluviosité estivale légèrement plus élevée et les deux maximums Pluviométriques pour les régions de l'intérieur .

2-2- LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES .

Etudier les régimes Pluviométriques revient à examiner la façon selon laquelle les Précipitations se répartissent au cours de l'année .Cet examen pourrait éclaircir le rôle des facteurs Géographiques (la distance à la mer, l'exposition, l'altitude, ...) sur les Précipitations mensuelles et saisonnières dans les différentes régions .

Mais, il faut signaler, d'abord, que cette étude a des inconvénients Parmi lesquels :

-Tous les mois ne sont Pas de même durée en jours : février est moins long que les deux mois qui l'encadrent.

-Il arrive qu'un seul mois reçoive Plus de 50 % des Précipitations de sa saison .

A ces deux inconvénients, nous remédions Par l'emploi des coefficients Pluviométriques relatifs d'ANGOT (106) .

-Il arrive qu'une même saison astronomique contienne le mois le Plus humide et le mois le Plus sec ,ou bien que le mois le Plus sec appartienne à la saison la Plus humide (128) .

On s'aperçoit finalement que le Problème réside dans le fait que la décomposition de l'année en saisons astronomiques, en Europe Occidentale, n'exprime Pas correctement la façon dont les Précipitations se répartissent au cours de l'année .Et c'est peut être la raison qui laisse l'emploi de cette méthode apparaître de moins en moins dans des études climatologiques consacrées aux zones tempérées humides (97) .

Mais, nous estimons que pour la région nord-ouest du Maroc dont le climat peut être qualifié de méditerranéen (1), l'étude des régimes pluviométriques peut aboutir à des résultats satisfaisants .

Pour cette raison, nous allons nous attacher à discerner d'abord, les mois recevant le plus de pluie et les mois secs .Ensuite, nous allons recourir à la méthode consistant à grouper les mois en saisons et à distinguer ainsi des régimes saisonniers variables dans l'espace et dans le temps .

(1) La Partie nord-ouest du Maroc se caractérise par des saisons bien distinctes : été : chaud et sec, hiver : doux et humide, l'automne et le printemps sont des saisons intermédiaires .

2-2-1- LES REGIMES MENSUELS .

Les hauteurs mensuelles moyennes de précipitations sont consignées sur le tableau no:6 et traduites sur les figures no:5 .L'examen fait ressortir les faits suivants :

-Un trait commun à tous les régimes est le minimum Pluviométrique d'été : mise à part la Plaine du Sais (Fès-Méknès), les mois de juillet et d'août, où bien l'un des deux, ne reçoivent en moyenne aucune goutte de pluie .Les précipitations reçues pendant ces deux derniers mois par les stations de Fès et de Méknès sont dues aux averses orageuses que connaît l'arrière-Pays pendant cette saison .

-Le littoral entre Casablanca et Tanger se caractérise par un seul minimum Pluviométrique coïncidant toujours avec l'été .

-La Plaine du Sais et le sud-est du Gharb se caractérisent par deux minimums Pluviométriques ; le premier, le principal, coïncide avec un ou deux mois d'été et le minimum secondaire coïncide avec janvier à Fès et à Sidi.Kacem, avec février à Méknès .

-Deux remarques sont à signaler à propos de Ghédina et de Sidi.Sliman . Ghédina, se situant à une distance d'environ 5 Km de la mer, présente des caractères à la fois maritimes et continentaux . Maritimes, parce que deux mois d'été ne reçoivent aucune goutte de pluie, et continentaux parce qu'elle présente deux minimums Pluviométriques mensuels et un maximum principal décalé vers novembre .Cette remarque peut s'expliquer par la position de la station au sein de la première dépression, juste après le

soulèvement de la falaise (1), mais surtout Par la brièveté de la Période d'observation .

Les relevés Pluviométriques de Sidi-Sliman étaient divisés en deux sous-séries : la Première va de 1937 à 1961 et la seconde de 1965 à 83 .Et nous remarquons, en comparant entre les deux diagrammes Pluviométriques Présentés sur les figures no:5, que la Première sous-série Présente un seul minimum Pluviométrique alors que la seconde en Présente deux .Cette discordance au sein de la même station est due au mois de janvier qui Parait être Plus humide Pendant la Période 1937-61 que Pendant la Période 1965-83 .

-Les régions se situant à Proximité de la mer et celles qui sont bien exposées aux influences maritimes se caractérisent Par un seul maximum Pluviométrique mensuel : maximum de décembre .

-Les régions à tendance continentale se caractérisent Par deux maximums Pluviométriques mensuels : le maximum Principal, se localisant au mois de novembre Pour Sidi.Kacem, Ghédira et Fès, est décalé au mois de décembre Pour Méknès et Sidi.Sliman .Le maximum secondaire se localise au mois de Mars à Méknès, Fès et Sidi.Kacem, le mois d'avril Pour Ghédira et en février Pour Sidi.Sliman-2 .

(1)Entre Larache et Kénitra, la morphologie du littoral se caractérise Par des ondulations allant de la Plage vers l'arrière-Pays .Et ceci, jusqu'à une distance de 15 Km selon les régions .Les dépressions se situant entre deux soulèvements sont Ponctuellement colonisées Par des lacs .D'ailleurs le nom "Ghédira" signifie "Etang" .

-Sidi Sliman, étant plus proche de la mer que Fès, Meknès et Sidi Kacem, enregistre son maximum secondaire plus tôt que ces dernières .

Finalement, on constate que les régimes mensuels de précipitations sont surtout influencés par les effets de la mer qui diminuent en allant vers l'est .Et nous nous demandons si le résultat restera le même en travaillant à l'échelle de la saison ?

2-2-2- LES REGIMES SAISONNIERS .

2-2-2-1- Les régimes saisonniers moyens et leurs répartitions géographiques .

Le régime saisonnier moyen est une valeur statistique calculée sur un nombre élevé d'années . Il s'établit en additionnant les précipitations mensuelles par trimestre saisonnier, année par année, et ensuite par la sommation des valeurs annuelles de chaque saison . Les saisons sont classées par ordre décroissant, en tenant compte de leurs longueurs inégales dans le cas où les valeurs seraient trop rapprochées . Le résultat s'exprime en une seule formule abrégée telle que "H.A.P.E." qui signifie que l'hiver est plus arrosé que l'automne et ainsi de suite (107) .

Il est évident que ce classement moyen est la résultante d'une série de classements annuels successifs qui peuvent tantôt être différents du régime saisonnier moyen, tantôt le reproduire un certain nombre de fois, comme nous le verrons à propos de la variation inter-annuelle du régime .

Signalons que pour l'étude du régime saisonnier nous avons décomposé l'année en quatre saisons

astronomiques : l'hiver contient les mois de décembre, janvier et février, le Printemps contient les mois de mars, avril et mai...etc. Et l'application de la méthode décrite ci-dessus nous a fourni les régimes saisonniers moyens figurés sur le tableau n°8 .

À Propos de ce dernier, nous pouvons signaler les remarques suivantes :

-Souvent la saison la plus humide est l'hiver et la saison la plus sèche est l'été .

-Mises à part Ghédira et Tanger dont le régime saisonnier moyen est HPAE, toutes les autres stations se caractérisent par un régime moyen de type HPAE .Ce régime est océanique dans la zone méditerranéenne .

-Ghédira et Tanger se caractérisent par un régime saisonnier moyen différent de celui de toutes les autres stations pour les raisons suivantes :Ghédira se distingue par rapport aux autres stations s'explique par sa situation particulière citée précédemment .Tanger, à cause de sa situation au sommet nord-ouest de l'Afrique, entre les effets de la Méditerranée et de l'Atlantique .D'ailleurs, Tanger se situe loin, en dehors de notre terrain .

Finalement, quand nous laissons de côté la station de Ghédira, nous nous apercevons qu'en moyenne l'Océan Atlantique a une influence considérable sur la répartition saisonnière des précipitations de toute notre région, bien ouverte aux influences maritimes d'ouest (1) .Et ce, jusqu'à une distance d'environ 200Km (Fès) .

(1)La chaîne montagneuse du Rif, qui dépasse l'altitude de 2450 m (Jbel Tidghine), met notre région à l'abri des influences maritimes venant du nord-est (Méditerranée) .

Nous nous apercevons, encore, que les nuances soulignées à Propos des régimes mensuels, entre les régions du littoral et celles de l'intérieur, disparaissent avec les régimes saisonniers, et que notre région se caractérise, d'une façon générale, par un régime saisonnier moyen de type océanique (HPRE) .

Mais comme le résultat est basé sur des hauteurs saisonnières moyennes et que notre région se caractérise par une forte variation de précipitations, comme nous verrons plus loin, nous proposons l'étude de la variation inter-annuelle des régimes saisonniers .

2-2-2-2- La variation inter-annuelle des régimes saisonniers

Etudier cette variation revient à Poser la question de la représentativité des régimes moyens et à se demander si les écarts des divers régimes annuels par rapport à ceux-ci sont Purement fortuits .

En comparant les régimes saisonniers de chaque année, Pendant une période longue, à leur régime statistique, nous constatons que la réalisation de celui-ci est relativement fréquente (1). La formule moyenne (HPRE), caractérisant notre région, fut observée 21 fois sur 54 ans à Casablanca, 8 fois sur 24 ans à Fès, 17 fois sur 33 ans à Ksar el Kébir (tableau n°8) .

D'une façon générale, nous constatons que, mise à part Ghédira, la réalisation du régime statistique est comprise entre 29 et 57 % des cas .

Vu cette fréquence de réalisation, Pouvons nous conclure que l'ordre statistique moyen correspond à la réalité des régimes saisonniers ?

Pour répondre à cette question, nous allons décomposer les formules saisonnières annuelles Pour mieux comprendre les rapports existant entre ces derniers et les régimes moyens .

(1) Dans une étude publiée en 1968, Mr. BIAYS.P. trouvait que le régime statistique se réalise au plus trois fois sur dix sept ans dans le nord de la France (cas de la station de Cassel) .

Ainsi, en décomposant les formules saisonnières réelles, nous trouvons le résultat figuré sur le tableau no:2-4 duquel nous pouvons tirer les renseignements suivants :

C'est la saison d'hiver qui reçoit souvent le plus de pluie, elle occupait la tête des formules saisonnières 33 ans sur 53 à Casablanca, 12 ans sur 23 à Fes, 4 ans sur 7 à Ghédira ...Bref, la fréquence de cette saison à la tête des formules saisonnières réelles est toujours supérieure à 50 % des années .

L'été est la plus sèche des saisons ; il n'a jamais occupé une des deux premières places .

-Le nombre d'années où le Printemps occupait la deuxième place dans les formules saisonnières réelles était supérieur à celui de l'automne pour neuf stations .Parmi les cinq stations restantes, il y a celles de Tanger et de Ghédira dont la formule saisonnière moyenne est HAPE .Et vu cette dernière formule, il était attendu, pour ces deux dernières stations, que l'automne soit relativement plus humide que le Printemps .

-En décomposant les années en semestres de deux saisons, le semestre hiver-Printemps reçoit souvent plus de pluie que les autres semestres .

Le semestre hiver-Printemps occupe plus souvent que celui d'hiver-automne la première place dans des formules saisonnières réelles .Et en comparant entre ces deux derniers semestres, et en laissant de côté l'ordre des saisons dans leurs semestres, nous nous apercevons que le résultat est le même .Donc, en conclusion le Printemps occupe souvent la deuxième place, après l'hiver, dans les formules saisonnières .Ceci correspond aux formules du régime

saisonnier moyen .

Mais, il faut signaler que la différence en hauteur de Pluie entre l'automne et le Printemps n'est pas toujours très considérable .Ainsi, en Prenant trois stations comme exemple, l'automne a reçu Plus de Pluie que le Printemps pendant douze ans sur trente et un à SK.Larbaâ, onze ans sur vingt et un à Larache, dix neuf ans sur quarante sept à Tlata.R...

Nous touchons là à l'une des causes de variation inter-annuelle du régime saisonnier : c'est le fait que les Précipitations des deux saisons, automne et Printemps, ne sont pas hiérarchisées dans un ordre constant .Il suffit de 10 jours de Pluie supérieur à la normale ou de dix jours de sécheresse pour que l'automne soit promu au deuxième rang ou rejeté à l'avant dernière place .Un calcul opéré sur les données de quatre stations illustre cette instabilité du régime .

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous montrent que la variabilité, considérable pour les quatre stations, est maximale pour la saison la moins arrosée, l'été, et qu'elle décroît dans le sens inverse de la Pluviosité .

LA VARIABILITE RELATIVE INTER-ANNUELLE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES .

Les coefficients de variations (%) .

Stations	hiver	Printemps	été	automne
Larache	52,5	54,8	99	60
Fès	47,7	42,4	71,7	52,6
SK.Larbaâ	75,7	52	111,5	54,2
Tlata.R	42,7	50,4	151	56,8

Les valeurs des coefficients de variations indiqués sur ce tableau, nous laissent imaginer que, selon les années, nous pouvons avoir, en équivalence de Pluie, dix jours en plus ou en moins pour chaque saison. Et cela suffit pour créer une déviation par rapport à la moyenne statistique. Cela revient à dire que souvent, pendant les années où les précipitations des saisons intermédiaires ne sont pas très différentes de leurs normales, les régimes réels correspondent aux régimes statistiques moyens. Dans le cas contraire, nous assistons à une permutation entre l'automne et le printemps.

En résumé, les variations inter-annuelles des formules saisonnières traduisent le caractère bâtarde des régimes pluviométriques.

À certaines réserves près, toute la partie nord-ouest du Maroc se caractérise par un régime saisonnier moyen de type HPRE.

Même loin dans l'arrière-pays, les influences de la mer se font sentir sur les précipitations ; Fès, à une distance d'environ 200 Km de la mer, présente un régime saisonnier moyen de type maritime (HPRE).

2-2-3- LES REGIMES PROBABLES .

"...L'ensemble des techniques d'analyse des régimes Pluviométriques tombe sous le coup d'une critique globale ... Cette critique peut se dépasser -en partie- par la construction des régimes Probables..." (128, p:222) .

La construction des régimes Probables consiste à dresser sur un graphique des Paramètres caractéristiques comme la moyenne, la médiane, les neuf déciles,...

L'utilisation de chaque Paramètre donne une Probabilité de fréquence équivalent au Pourcentage Présenté par ce dernier . En Prenant comme Paramètre la moyenne ou la médiane, nous avons une Probabilité de 50 % de dépasser la valeur représentée par cette moyenne ou bien par cette médiane .

L'application de la méthode décrite ci-dessus pour nos hauteurs mensuelles de Précipitations, a donné les figures no:6 . Les Paramètres utilisés pour dresser cette figure sont les quartiles supérieurs et inférieurs et les médianes.

De ces figures, nous pouvons tirer les constatations suivantes :

-Comme il a été vu précédemment, les régions se situant à l'Ouest de la ligne Casablanca-Ouezzan reçoivent plus de pluie que celles qui se situent à l'Est de cette même ligne . Et vu les principes de la méthode des régimes Probables, il est évident que le premier groupe de stations doit avoir des probabilités élevées de recevoir des quantités de pluies supérieures à celles du deuxième groupe de stations: la probabilité de dépasser la hauteur de 60 mm de

Pluie est d'environ 35 % à Fès et de 70 % à Sk.Larbaâ pendant le mois de janvier .Pendant le mois de novembre, il existe environ 50 % de chance de dépasser la hauteur de 65 mm à Méknès et de 85 mm à Kénitra .

-Comme il a été vu avec les régimes saisonniers moyens, l'été est toujours censé recevoir les plus faibles quantités de pluie et, l'hiver ou le printemps, selon les régions, sont censés recevoir les plus grandes quantités de pluie saisonnières .

-La Probabilité de recevoir une quantité de pluie pendant un mois donné n'est pas très différente entre les régions du littoral, Larache et Kénitra .

-Contrairement au littoral, la plaine du Saïs et le sud-est du Gharb (Sd.Kacem, Sd.Sliman-2) marquent une augmentation de probabilité pendant le début du printemps.

-Mise à part Fès, la formule saisonnière moyenne caractérisant notre région est la même que celle des régimes Probables (HPAE) : l'hiver a de fortes chances de recevoir plus de pluie que les autres saisons, le printemps arrive après et l'été est la saison la moins arrosée .

Le printemps à Fès est censé recevoir plus de pluie que les autres saisons prises une par une . De ce fait, nous assistons à un passage du printemps de la deuxième place dans la formule saisonnière moyenne (HPAE) à la première place dans la formule des régimes Probables (PHAE) .

Cette permutation entre le printemps et l'hiver peut s'expliquer par la situation de la station loin vers l'est et par son entourage montagneux : entourée du Pré-Rif, du Rif et du Moyen Atlas, Fès ne peut recevoir directement que les influences maritimes du nord-ouest .Pour

cette raison -la situation-, ni le maximum Principal, ni le maximum secondaire n'est enregistré pendant l'hiver (figure no:5-a) .Et c'est ainsi que le Printemps, contient le mois du maximum secondaire, peut enregistrer plus de pluie que l'hiver .D'ailleurs, en revenant au tableau no:7, nous nous apercevons que la différence entre les hauteurs saisonnières moyennes de l'hiver et du Printemps est de seulement deux mm (figure no:4) ; deux mm seulement permettaient à l'hiver d'occuper la première place dans la formule des régimes Pluviométriques moyens .

CONCLUSION :A certaines réserves près, l'étude des régimes Pluviométriques a donné une idée de la façon dont les précipitations se répartissent au cours de l'année, dans la partie nord-ouest du Maroc .Elle a montré que les régimes Pluviométriques moyens sont souvent de type HPRE .Cette formule est la même que celle des régimes Probables .L'ordre selon lequel s'organisent ces deux dernières formules, signifie que l'Atlantique joue un grand rôle sur les précipitations de toute notre région .Et il faut s'éloigner vers l'est (environ 200 Km de la mer) pour voir le Printemps occuper la première place, avant l'hiver, dans les formules du régime Probable .

2-3- LA CONCENTRATION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS .

Nous avons vu que la formule du régime saisonnier moyen de Précipitations, qui est la même que celle du régime Probable est -Fès mise à part- commune pour toute notre région : HPAE .Ceci signifie que l'hiver est la saison recevant le Plus de Pluie .Et pour connaître l'apport de cette saison ,théoriquement Plus humide que les autres, dans la Pluviométrie annuelle d'une région, nous Proposons d'étudier la concentration saisonnière des Précipitations .

Signalons tout d'abord, que l'étude de la concentration saisonnière de Précipitations s'emploie souvent dans des études de Projets d'entretien de l'Agriculture et des ressources hydrologiques .

Pour étudier cette concentration, nous nous sommes servis de la méthode indiquée dans notre annexe statistique .

Théoriquement, la valeur de cet indice (I3) se rapproche de "1" quand les Précipitations de tous les mois se répartissent à peu près également au cours de l'année .

Au début, cette méthode a été appliquée aux hauteurs mensuelles et saisonnières moyennes .Le résultat de cette application est figuré sur le tableau no:10 .Sur ce dernier, nous constatons que :

-Tous les indices de concentration saisonnières (I3) varient entre 1,7 (Fès) et 3 (Ksar el Kébir) .Donc, la Partie nord-ouest du Maroc se caractérise par une concentration de Précipitations saisonnière "moyenne".

Cette concentration qui, apparemment n'a pas de rapport direct avec la Pluviosité annuelle, reste

toujours inférieure à celle du littoral de la mer d'Alboran, comprise entre 2 et 4 : 2 à Almería, 3 à Ceuta et 4 à Melilla (31) .Mais, elle est tout de même supérieure à celle du département de la Somme, variant entre 1,05 et 1,6 (146) .

-Il apparaît que la concentration diminue en s'éloignant de la mer : l'indice de concentration à Kénitra est de 2,7 , à Fès il est à peine de 1,7 .

Cette remarque peut s'expliquer entre autres, par le fait que l'intérieur est relativement plus arrosé que le littoral en été et parce que les pluies hivernales sur le littoral ont un apport relativement plus considérable dans le total annuel que dans l'intérieur .Ceci explique la concentration plus élevée dans les régions du littoral pendant l'hiver .

-Tanger et Ghédira mises à part, la formule de la concentration saisonnière est commune pour toutes les autres stations .La grande concentration de précipitations s'observe pendant la saison d'hiver, ensuite c'est le printemps et enfin c'est l'automne .L'été est la saison dont la concentration est la plus faible .Donc, la formule est HPRE .

-Plus évocateur est le fait que les stations de Larache, de Kénitra et de Fès, avec des hauteurs annuelles moyennes de, respectivement, 708, 591 et 520 mm, enregistrent 69, 81 et 84,4 jours de Pluie Par an (1) . Cette remarque signifie que l'intensité quotidienne moyenne de Précipitations, considérable Pour les trois stations (2), diminue en s'éloignant de la mer .

Au cours de ces rares journées Pluvieuses, les averses brutales sont un fait marquant . Ch-P. PEGUY a attiré l'attention sur l'intérêt qu'il Pourrait y avoir à étudier l'intensité des Précipitations Quotidiennes (101) . En effet, 20 mm de Pluie tombant en un jour ou répartie sur quatre ou cinq jours, n'ont Pas les mêmes effets sur les Plantes et le sol . L'étude des fréquences d'intensités Quotidiennes de Précipitations sera abordée Plus loin .

Finalement, nous retenons l'idée que les Précipitations sont relativement Plus concentrées sur le littoral que sur l'arrière-pays . Et la saison dont la concentration est Grande dans toute notre région, est l'hiver .

Il est à rappeler que les résultats auxquels nous sommes arrivés sont basés sur des moyennes . Et, nous le verrons Plus loin, les Précipitations dans notre région se caractérisent Par une Grande variabilité mensuelle et annuelle . De ce fait, nous Prenons ces résultats avec attention et nous Proposons d'étudier la concentration des Précipitations année Par année .

(1) Un jour est considéré comme Pluvieux quand il reçoit une lame d'eau supérieure ou égale à 0.1 mm.

(2) L'intensité quotidienne moyenne est de 6.1 mm à Fès, 7.3 mm à Kénitra et 7.9 mm à Larache .

Soulignons tout d'abord, qu'en ce qui concerne le calcul de I3 de chaque année, le découpage de l'année en saisons astronomiques n'a pas été respecté : sont considérés comme trimestre le plus arrosé, les trois mois consécutifs recevant le plus de pluie, même s'ils n'appartiennent pas à une même saison astronomique (1).

Ensuite, nous avons calculé les I3 annuels pour toutes nos stations. Une partie des résultats de ce calcul est figurée sur le tableau no:11. L'ensemble des résultats est indiqué sur les tableaux no:12. A propos du tableau no:11, nous remarquons deux points :

-On pourrait croire, au premier abord, à l'existence d'une relation inverse entre la pluviosité annuelle moyenne et la concentration saisonnière : Casablanca dont la hauteur annuelle moyenne est la plus basse de toutes les stations retenues, présente le I3 le plus élevé. Mais, en comparant sur le même tableau, entre les hauteurs annuelles moyennes et les I3 les plus élevés, nous nous rendons compte que ce ne sont pas forcément les stations les moins humides qui présentent les I3 les plus élevés. D'ailleurs, la plus arrosée des stations (Quezzan) ne présente pas non plus, I3 le plus faible (7,99).

L'indépendance entre la pluviométrie et la concentration saisonnière peut-être encore prouvée, en comparant chaque I3 à son total annuel de pluie. En prenant comme exemple la station de Casablanca, nous nous rendons compte que ce ne sont pas les années sèches qui présentent les I3 les plus élevés : les années de 1948 et 1981 dont les

(1) Ch-P. PEGUY pense qu'on peut considérer comme trimestre le plus arrosé, les trois mois les plus arrosés de l'année, même s'ils ne sont pas consécutifs.

totaux annuels de Précipitations sont respectivement de 175 et 148 mm Présentent des I3 de 4.39 et de 2.1 . Ceci au même moment où l'année 1974, avec un total annuel de 339 mm. Présente un I3 de 17.2 .Les années humides ne détiennent Pas non Plus, les I3 les Plus faibles .

-Pour toutes les stations, la concentration saisonnière est considérable : l'indice I3 varie entre 1.57 et 17.2 .Et rappelons le, un I3 élevé signifie que l'apport du trimestre le plus arrosé dans la Pluviosité annuelle est grand .Par exemple, la station de Larache (1983), de Kénitra et de SK.Larbaâ (1974) ont enregistré, chacune, un apport du trimestre le plus arrosé dans la Pluviosité annuelle, respectivement de 73, 76 et 78 % .

-Neuf stations sur quatorze ont marqué leurs I3 le Plus élevés en 1974 .Et nous constatons sur le tableau n:2-6 que cette année a été Partout déficitaire Par rapport à la moyenne annuelle .Mais, elle n'a Pas toujours été la Plus sèche .

Pour éviter toute ambiguïté, nous avons tracé des diagrammes Pluviométriques (figure no:7) .Sur ces derniers, nous constatons que toutes les stations marquant leurs IS maximum en 1974 présentent comme trimestre le Plus arrosé février, mars et avril .Le mois d'Avril 1974 est partout le Plus humide des mois de son année .Les stations n'ayant Pas marqué leurs IS maximum en 1974, présentent comme trimestre le Plus arrosé janvier, février et mars .

-Sur le tableau no:11, sont indiqués les nombres d'années où tel ou tel mois était initial du trimestre le Plus humide .Vu les durées d'observations différentes, et Pour faciliter la comparaison entre les régions, nous avons converti les fréquences absolues en fréquences relatives .Ainsi, nous avons trouvé que, mis à Part la Plaine du Saïs et le sud-est du Gharb, le nombre d'années où octobre était initial du trimestre le Plus arrosé est de 38 % des cas et plus .Cette fréquence atteint la barre de 53 % (Kénitra) .Pour le Saïs et le sud-est du Gharb, la fréquence de ce même mois n'a jamais dépassé 36 % des années .Elle a été de 8 % des années à Fès .

-La fréquence de janvier comme mois initial du trimestre le Plus arrosé est, mis à Part le Saïs et le sud-est du Gharb, toujours inférieure à celle du mois d'octobre .

-Le nombre d'années où février a occupé le Premier mois du trimestre le Plus arrosé est considérable Pour la Plaine du Saïs : il est de 37 % à Fès et de 25 % à Méknès) .Pour les autres régions ,la fréquence n'a jamais dépassé 18 % des années (Ouezzan) .

-Septembre est initial du trimestre le Plus arrosé Pour 2 % des années à Méknès et 4 % des années à Fès .Pour les autres régions, mise à Part Tanger, septembre n'a

Jamais été initial .

Finalement, nous pouvons résumer ces dernières remarques par le fait que notre région se caractérise par une forte concentration saisonnière de précipitations : l'apport d'un seul trimestre, le plus arrosé bien sûr, peut dépasser 70 % de la pluviosité annuelle (73 % à Larache en 1983, 76 % à Kénitra et 78 % à Sk.Larbaâ en 1974) .

Les régions se situant non loin de la mer marquent, souvent, le début de leur trimestre le plus arrosé en avance par rapport à celles se situant loin vers le sud-est (1). Et le nombre d'années où ces dernières ont commencé tôt leur trimestre le plus arrosé (septembre) a été très faible, entre 2 et 4 % des années .

(1) Très souvent, le trimestre le plus arrosé commence en automne et chevauche avec l'hiver sur les régions du littoral . Pour les régions de l'intérieur, le trimestre le plus arrosé commence en hiver et s'étale sur le printemps .

2-4- L'ETUDE DE LA VARIABILITE .

Nous avons vu à propos de la concentration, que l'hiver est la saison recevant le plus de pluie . Nous avons vu aussi, à propos des régimes pluviométriques, que la variabilité des précipitations augmente quand ces dernières diminuent et vice versa . Pour cerner de plus près cette deuxième remarque et pour d'autres raisons, nous proposons d'étudier la variabilité annuelle et mensuelle des précipitations .

Nous envisageons l'étude de la variabilité des précipitations car :

-Tout d'abord, elle permettra d'avoir une idée de la variabilité des précipitations dans notre région .

-Elle nous permettra de comparer la variabilité des précipitations à celle des autres éléments du bilan hydrique .

-Enfin, nous le savons, les précipitations sont, entre autre, à l'origine des inondations et de la sécheresse .Donc, avoir une idée sur la variabilité des précipitations signifie avoir une idée sur la variabilité de la sécheresse qui touche de plus près l'économie de la région (1) .

Finalement, pour étudier la variabilité des précipitations dans la partie nord-ouest du Maroc, nous avons adopté les méthodes présentées ci-dessous :

(1) L'économie de la région est surtout basée sur les activités agricoles .

2-4-1- La méthode du rapport à la moyenne :

Pour appliquer cette méthode, nous avons pris trois stations que nous avons jugé, vu leurs situations et leurs Pluviosités moyennes, représentatives de toute notre région .Puis, à chacune de ces stations nous avons calculé la différence entre la hauteur de pluie de chaque année et la hauteur annuelle moyenne .Le résultat de ce calcul est présenté sur la figure no:8 .L'échelle des ordonnées représente les écarts à la moyenne en mm .Ensuite, nous avons calculé pour ces mêmes stations, le rapport entre la Pluviosité de chaque année et la hauteur annuelle moyenne .Le rapport ainsi obtenu est multiplié par 100 .Le résultat de ce calcul est présenté sur la figure no:9 .

Remarquons la similitude entre les courbes des deux figures .

Concernant ces deux dernières, nous remarquons que :

-La Variabilité inter-annuelle de Précipitations est très Grande (16) une seule année peut enregistrer le double de la hauteur annuelle moyenne (Larache 1963) .

-Les deux figures illustrent l'année exceptionnellement Pluvieuse qu'a connu le nord du Maroc en 1963 (1) et "la sécheresse" qui a commencé à partir de 1979 .

(1)L'année exceptionnellement Pluvieuse (1962-63) a connu le débordement de Sebou dans la Plaine du Gharb, causant la mort de plusieurs dizaines de personnes, d'animaux, ainsi que de considérables dégâts économiques .

-L'évolution des Précipitations annuelles est presque commune pour les deux stations de l'intérieur .Larache ne suit pas la même variation que ces deux dernières ; certaines années, les Pluies varient dans le sens contraire (1972) .

Finalement, les renseignements tirés de ces dernières figures sont vagues et limités .Pour cette raison, nous proposons d'autres indicateurs plus expressifs et pratiques pour la comparaison et exprimant la variabilité de toute la période d'observation en un seul nombre .

2-4-2- L'intervalle total de variation (étendue) : L'étendue d'un ensemble de nombres est la différence entre le plus petit et le plus grand de ces nombres .

$$W = X_{\text{maxi}} - X_{\text{mini}} \quad (5).$$

L'application de cet indicateurs à nos mesures de pluie a fourni les résultats figurés sur le tableau no:13 (1) .

2-4-3- L'écart-type : Pour la formule permettant de calculer l'écart-type d'une distribution, nous renvoyons à notre annexe statistique .

Les résultats de l'emploi de cet indicateur sont consignés sur le tableau no:13 .

Les résultats auxquels nous sommes parvenus, après le calcul de ces deux indicateurs de la variabilité peuvent se résumer ainsi :

(1) Ces tableaux présentent les résultats des trois méthodes utilisées ci-dessous pour l'étude de la variabilité .

-Dans le temps, notre région se caractérise par une grande variabilité de précipitations ; la variabilité des précipitations des mois hivernaux est grande par rapport à celle des mois d'été .

-Dans l'espace, la comparaison entre les variabilités de précipitations dans les différentes régions ne peut pas être objective, vu les pluviosités moyennes et les durées d'observations différentes ; des valeurs extrêmes aberrantes risquent d'avantage d'apparaître au sein d'un grand effectif que parmi un contingent plus limité (1) .

Et puisque nos résultats sont basés sur des périodes d'observations différentes et que la pluviosité diminue en allant vers le sud-est de notre région, nous considérons ces résultats avec attention et nous allons chercher un autre moyen qui nous permettra de comparer avec objectivité, la variabilité de précipitations entre nos différentes sous-régions .

2-4-4- Le coefficient de variation : V : Le coefficient de variation est un nombre sans dimension ; par le rapport d'une caractéristique de dispersion absolue à une caractéristique de valeur centrale, l'unité de mesure disparaît . La variabilité doit être positive et exprimée en fonction d'une origine non arbitraire .

C'est ce coefficient qui se révèle le plus satisfaisant des mesures de dispersion utilisables dans l'étude comparée de la variabilité de précipitations entre plusieurs stations (5)

(1) Les indicateurs employés, l'étendue et l'écart-type, sont sensibles à la taille de l'échantillon et à la grandeur des valeurs formant ce dernier .

Pour la formule de ce coefficient, voir notre annexe statistique .

Les résultats de l'application de cette formule sont figurés eux aussi, sur le tableau no:13.

Ces résultats peuvent être interprétés de la façon suivante :

2-4-4-1- L'échelle annuelle : Dans toute notre région, la variabilité des précipitations n'est pas très différente : tous les coefficients varient entre 2.2 et 3.3 % .En plus, nous ne constatons pas de répartition régionale bien nette de la variabilité .Mais, en fixant bien les chiffres, nous trouvons que les plaines du Gharb et du Sais se caractérisent par des coefficients de variation relativement faibles par rapport à ceux du Plateau de R'mel de Larache .

2-4-4-2- L'échelle mensuelle :

Les coefficients de variation que nous avons calculé sont traduits sur les figures no:10 .

En regardant ces dernières et les tableaux no:13, nous constatons que :

-Les régions du littoral présentent des coefficients de variation élevés pendant la fin d'automne, le début d'hiver, le printemps et le début d'été .

-Les régions de l'intérieur présentent des coefficients de variations élevés pendant la fin d'été et le début d'automne .

-A Part les stations de Larache, Fès et Ghédira qui marquent leurs grandes variabilités pendant le mois d'août, toutes les autres stations connaissent leurs grandes variabilités pendant le mois de juillet. La grande variabilité de toute notre région se localise alors, au sein de l'été. Ceci signifie que la relation entre la variabilité et les hauteurs de précipitations est inverse.

-Contrairement aux coefficients de variation, l'étendue et l'écart-type ont indiqué que la grande variabilité s'observe pendant les mois d'hiver. Mais il paraît raisonnable de croire aux résultats du coefficient de variation, car ce dernier est, par rapport à l'étendue et à l'écart-type, relativement indépendant de la taille de l'échantillon et de la pluviosité de la station. D'ailleurs, les résultats de ce coefficient correspondent à la sagesse populaire qui dit : "chez nous, l'été est sec, mais quand il pleut, c'est torrentiel." Donc, la grande variabilité s'observe pendant les mois d'été.

-Mars sur le littoral et, juin dans l'arrière-pays, marquent souvent une baisse de la variabilité.

-La variabilité des hauteurs annuelles est toujours inférieure à celle des hauteurs mensuelles. Cette remarque confirme l'idée de la compensation de précipitations mensuelles : remarque déjà signalée à propos de l'estimation des mesures manquantes de pluie.

Nos résultats peuvent se résumer en trois points :

-Notre région se caractérise par une grande variabilité des précipitations mensuelles : les coefficients de variation varient entre 50 et 500 %.

-Dans l'espace, la variabilité diminue progressivement en s'éloignant de la mer .

-Dans le temps, la grande variabilité de précipitations s'observe pendant les mois d'été .

Conclusion .

Nous avons utilisé cinq méthodes pour étudier la variabilité des précipitations dans la partie nord-ouest du Maroc .

Les deux premières méthodes, celles qui utilisent la différence et le rapport à la moyenne, ont seulement indiqué que chez nous, la variabilité est grande .

Les résultats des méthodes basées sur le calcul de l'étendue et de l'écart-type sont à considérer avec attention ; ces deux paramètres statistiques sont fort influencés par la longueur de la durée des observations et par la pluviosité moyenne . Pour cette raison, ces deux dernières méthodes ne conviennent pas à l'étude comparative de la variabilité des précipitations dans notre région .

Finalement, nous avons utilisé les coefficients de variations . Ces derniers se révèlent les plus satisfaisants parmi les mesures de la dispersion utilisables dans la comparaison de la variabilité en plusieurs stations .

Les résultats auxquels nous sommes parvenus peuvent se résumer dans les points suivants :

-Notre région se caractérise par une forte variabilité de précipitations . Et les cinq méthodes employées sont d'accord sur ce point .

-La variabilité est maximum pendant les

mois d'été .

-La variabilité diminue progressivement avec la continentalité .

-La variabilité des hauteurs annuelles de pluie est toujours inférieure à celle des hauteurs mensuelles

2-5- LA DESCRIPTION DES SERIES DES HAUTEURS MENSUELLES DE PLUIE .

Sous ce titre, nous envisageons l'étude des différentes formes de distributions théoriques susceptibles d'ajuster les séries des hauteurs mensuelles de précipitations au nord-ouest du Maroc. Cette étude permettra, en même temps, de confirmer les remarques signalées à propos de la variabilité des précipitations : une série de mesures dont la courbe de l'histogramme de fréquences observées s'approche de la courbe de Gauss signifie que la variabilité des mesures est faible par rapport à la moyenne . Et une série dont la forme de l'histogramme de fréquence est plutôt leptocurtique (très pointue) signifie que la série en question se caractérise par une importante variabilité .

Pour ce faire, nous avons commencé, pour avoir les fréquences observées, par la décomposition de toutes nos séries de hauteurs mensuelles en dix classes . Les seuils, selon lesquels sont calculés les fréquences, ont été pris en fonction de la plus élevée et de la plus faible des hauteurs de pluie qu'a enregistré une station . Par exemple, 193 et 0.2 mm, sont respectivement, la hauteur mensuelle la plus élevée et la hauteur mensuelle la plus faible qu'a enregistré la station de Fès pendant ses 24 mois (janvier) d'observations . Donc, pour découper la série des mois de janvier à Fès, nous avons divisé 193 par 10¹ . Puis, nous avons ajouté 0.2 à 19.3 . Ainsi, notre première classe est comprise entre 0.1 et 19.5 mm . La deuxième est comprise entre 19.6 et 38.6 mm ... et la dixième est comprise entre 173.6 et 193 mm .

Après, nous avons cherché l'effectif des mois dont les hauteurs étaient comprises entre 0.1 et 19.5 mm, celui dont les hauteurs étaient comprises entre 19.6 et 38.6 ...

En procédant de la même façon avec les

Nous avons remarqué, après l'observation de la forme des histogrammes de fréquences et des valeurs des coefficients B_2 et Y_1 , que les séries pluviométriques étudiées présentent la plupart des distributions théoriques de l'abaque de Pearson (sauf en considérant celle de Gauss). Certaines séries sont pourtant difficiles à classer du fait de leur forme générale qui les rapproche de plusieurs types (tableau no:14).

Malgré ces différentes formes d'histogrammes de fréquences, nous pouvons souligner les remarques suivantes :

-Toutes les séries sont biaisées à droite; les signes de tous les coefficients Y_1 , donnée par la différence (moyenne-mode), sont toujours positifs. Ceci signifie qu'aucune de nos séries ne présente de concentration de valeurs dans les classes supérieures à la classe modale (1). Nous pouvons prendre comme exemple, la série du mois d'avril à SK. Larbaâ (figure no: 11-A (2)). Ici, le coefficient de dissymétrie est de 9.09. Le maximum pluviométrique de 170.9 est enregistré en 1971. Vu la moyenne de ce mois, 55 mm, nous pouvons considérer la hauteur d'avril 1971 comme exceptionnelle. Ce dernier mois exceptionnellement pluvieux, a pour effet d'augmenter le biais de l'histogramme à droite dans les classes comprenant de fortes valeurs. Un coup d'oeil sur le graphique montre les faibles fréquences (parfois nulles) des classes à fortes valeurs. Ces dernières classes ne doivent

(1) Nous avons tracé les histogrammes des fréquences pour chaque mois et pour chaque station (168 graphiques). Vu leur grand nombre et la place que cela demande, nous ne présenterons que des cas typiques.

(2) Voir la légende des graphiques après la figure no:11-H.

douze mois de l'année, nous avons obtenu les fréquences observées des hauteurs de Pluie de tous les mois et Pour toutes les stations .

A coté de ces résultats, nous avons calculé des coefficients susceptibles de montrer les formes de distributions théoriques que Peuvent suivre nos séries de fréquences observées, obtenues Précédemment .Parmi ces coefficients, il y a B1, B2 et K de Pearson, il y a Y1 et Y2 de Fischer ...

Soulignons que concernant l'étude des formes de nos histogrammes de fréquences, nous nous sommes servis Principalement des coefficients Y1 de Fischer, de B2 et de K de Pearson .

L'expression du coefficient de dissymétrie Y1 de Fischer est signalé dans notre annexe statistique .

Dans le cas d'une distribution normale, considérée comme référence, le coefficient Y1 (Gamma un) est égal à 0 .(Y1 =SQR(B1 de Pearson)) .

Le coefficient d'APPlatissement B2 est donné Par la relation signalée dans notre annexe statistique.

Le coefficient K de Pearson est donné Par la relation :

$$K = \frac{B1(B2+3)^2}{4(4B2-3B1)(2B2-3B1-6)} \quad (B1 \text{ et } B2 \text{ de Pearson})$$

La courbe de Gauss correspond aux cas ou B1=0,B2=3 et K=0 .

InterPrétation des résultats :

leur existence au'au découpage imposé par la valeur extrême de la série .

Cette observation signifie que la Pluviosité mensuelle, dans notre région, varie entre deux hauteurs dont la différence n'est pas extrêmement grande .Mais, il arrive qu'un seul mois ou deux, de toute la période, enregistrent des pluies exceptionnellement supérieures à la moyenne .Et c'est là que réside l'explication du fait que tous nos histogrammes de fréquences sont biaisés à droite .

En revenant à la figure no:11-A, nous nous apercevons que 27 mois d'avril sur 31 ont reçu une Pluviosité comprise entre 17,9 et 103 mm, et quatre mois seulement ont reçu une Pluviosité comprise entre 120 et 171 mm.

-L'observation de la forme des histogrammes de fréquences et des coefficients d'applatissement et de dissymétrie nous permet de dire que la Pluviosité mensuelle d'aucun groupe de stations appartenant à une même région, ne peut s'ajuster par une même loi théorique .Prenons comme exemple la Plaine du Saïs (figures no:11-B et C) .Nous voyons que respectivement, 2 et 3 sont les coefficients d'applatissement, 0,2 et 0,07 sont les coefficients de dissymétrie des stations de Fès et de Méknès .

L'histogramme de fréquence de la station de Fès a une forme hypnormale et celui de Méknès ressemble relativement à la courbe de Gausse .

En Prenant Larache et Kénitra comme stations représentatives du littoral, nous arrivons au même résultat que celui avec Fès et Méknès (figure no:11-D et E) .

Donc, les mesures mensuelles de précipitations, même celles relatives aux stations se situant dans une même région, ne s'ajustent pas forcément par une même loi théorique .

-Les séries pluviométriques ayant des histogrammes de fréquences à formes hypernormales (leptocurtiques) sont plus nombreuses que celles ayant des histogrammes de fréquences hypnormales (1). Ces séries (hypernormales) se caractérisent par une forte concentration de valeurs autour de la moyenne qui se situe dans la classe modale . Cette classe renferme les valeurs les plus fréquentes de la série . Comme station représentative de ce type, nous avons choisi celle de Sd.Kacem pendant les mois de février (figure no:11-F) .

Nous constatons sur la figure, que la série se caractérise par un minimum et un maximum prononcés qui accentuent le biais de l'histogramme aux deux extrémités et donc de la courbe théorique d'ajustement respectivement à droite et gauche.

Signalons que pour ce type d'histogramme, la moyenne est représentative de la série.

-Mises à part certaines séries relatives aux stations de Fès, de Ghédira et de Sd-Sliman-1, toutes les autres, de mai à septembre inclus, sont hypernormales . La série représentative de ce type est celle du mois de juin à Sd.Sliman-1 (figure no:11-G) .

(1)Une distribution de fréquence est dite hypernormale quand sa forme est plus "pointue" que la distribution gaussienne .

Remarquons que les stations représentant des séries à mettre à part se trouvent loin de la mer .Et, comme vu précédemment, les stations de l'intérieur reçoivent plus de pluie et se caractérisent par une variabilité relativement inférieure en été, à celle des stations du littoral .

La forme de ce dernier histogramme de fréquence (11-G) peut s'expliquer par le fait que les pluies mensuelles estivales, dans notre région, sont souvent inférieures à 5 mm .Mais, il arrive que la lame d'eau enregistrée dépasse ce seuil et atteind la barre de 46 mm, comme c'est le cas de Sd.Sliman-1 en juin 1944 .

En fait, ce sont ces mois estivaux, exceptionnellement pluvieux qui laissent la majorité de nos séries mensuelles se présenter sous une forme hypernormale et par conséquent, se caractériser par une variabilité supérieure à celle des séries hivernales .Cette remarque confirme le résultat fourni précédemment par l'emploi du coefficient de variation .

-Les séries hypernormales correspondent souvent aux mois normalement pluvieux(1)(tableau no:14) .Nous avons choisi pour représenter ce type d'histogrammes la série des mois de novembre à Ksar el Kébir (figure no:11-H).

La caractéristique particulière des séries entrant dans cette typologie est l'absence des valeurs exceptionnelles aussi bien dans les faibles

(1)La courbe d'un histogramme de fréquences est dite hypernormale quand sa forme est plus aplatie par rapport à celle de Gauss (B2<3).

valeurs que dans les valeurs élevées (Pas de mois de sécheresse sévère et Pas de mois particulièrement pluvieux). Par ailleurs, nous n'avons pas de regroupement sensible de valeurs autour de la moyenne, pas de mode nettement défini : les valeurs se distribuent presque uniformément entre les différentes classes .

Pour la station de Ghédira, sept séries sur douze se présentent sous forme d'histogrammes de fréquences hypernormales .Mais ce résultat est à considérer avec grande attention, car la durée des observations de cette station est de huit ans seulement .

Conclusion :

Ce chapitre peut-être considéré comme une introduction à la modélisation ,sujet que nous envisageons d'étudier ultérieurement .

Pour résumer les résultats, nous pouvons dire que les séries pluviométriques d'un mois donné (mars par exemple), même celles relatives aux stations appartenant à une même région, ne s'ajustent pas forcément par une même loi théorique .Encore faut-il dire que, du fait de la dispersion des hauteurs mensuelles de pluie relativement faible par rapport à la moyenne, la forme des histogrammes de fréquences relatifs aux mois hivernaux est souvent hypernormale .La forme des histogrammes de fréquences des mois estivaux est souvent hypernormale d'où la variabilité des précipitations hivernales relativement faible par rapport à celle des précipitations estivales .

3 - L'ETUDE DES PRECIPITATIONS QUOTIDIENNES .

3-1- LA DESCRIPTION SPATIALE DES SEQUENCES
SECHES ET PLUVIEUSES .

3-2- LA VARIABILITE INTER-ANNUELLE .

3-3- LES INTENSITES JOURNALIERES DE PLUIE .

3-4- ESSAIS D'AJUSTEMENT .

3-4-1-L'AJUSTEMENT DES SEQUENCES
SECHES ET PLUVIEUSES.

3-4-2-L'AJUSTEMENT DES HAUTEURS
QUOTIDIENNES DE PLUIE.

3-4-3-L'AJUSTEMENT DES HAUTEURS
EXTREMES DE PLUIE .

Introduction :

L'étude des précipitations annuelles et mensuelles peut fournir des renseignements utiles. Mais quand les précipitations de la région à étudier se caractérisent par une grande variabilité, comme c'est notre cas, il est raisonnable de réduire l'échelle -étudier les précipitations quotidiennes par exemple -pour comprendre avec plus de précision l'état du phénomène (les précipitations).

Nous proposons dans cette partie d'étudier les séquences quotidiennes de pluie. Ceci pour les intérêts que cette étude peut contribuer à notre travail. Elle permettra d'abord d'avoir des renseignements précis sur le phénomène des précipitations. Ensuite elle permettra de tester la fiabilité des relevés quotidiens de pluie. Finalement, les résultats de cette étude peuvent être pratiques : ils serviront pour les projets de l'irrigation, pour les prévisions des inondations ...

Nous envisageons de commencer cette étude par une description des séquences sèches et pluvieuses. Cette description permettra d'avoir une idée sur les nombres de jours secs et pluvieux et sur les durées des séquences dans notre région. Ensuite nous allons chercher la variabilité d'une année sur l'autre, de ces deux derniers éléments. Cette variabilité permettra de connaître l'ordre de grandeur des fluctuations inter-annuelles des séquences et des nombres de jours secs et pluvieux, et par conséquent, les fluctuations des quantités d'eau nécessaires (ou excédentaires) pour l'irrigation ...

Finalement nous terminerons cette partie par l'ajustement des séquences sèches, des séquences pluvieuses et des hauteurs extrêmes de pluie. Un tel ajustement permettra de tester la qualité des relevés, de prévoir les hauteurs quotidiennes de pluie, de prévoir les inondations (sécheresses) ... dans notre région.

Il est intéressant de définir ,dans cette introduction ,ce que nous appelons une "séquence " sèche ou Pluvieuse .

Les séquences sèches ou Pluvieuses sont des séries dans lesquelles se maintient un phénomène de persistance .Cette persistance tient au fait que le passage d'une perturbation ,au dessus d'un lieu ,dure fréquemment plus d'un jour ,et qu'il n'est pas rare que plusieurs perturbations se succèdent .Inversement ,une situation anticyclonique se maintient souvent plusieurs jours de suite .

Une séquence Pluvieuse se distingue d'une averse par sa durée et par sa discontinuité:elle peut durer plusieurs jours et elle comporte une série d'averses entrecoupée de brèves périodes sans précipitations .

3-1-LA DESCRIPTION SPATIALE DES SEQUENCES SECHES ET PLUVIEUSES .

3-1-1-LE NOMBRE DE JOURS SECS ET PLUVIEUX .

Signalons ,tout d'abord, que l'étude des Précipitations quotidiennes sera basée sur les relevés de trois stations seulement :Larache ,Kénitra et Fès .Ceci car nous n'avons pas trouvé d'autres relevés quotidiens fiables (1).Ces trois stations ,ou leurs pluviosités moyennes et leurs situations dans le terrain ,peuvent représenter toute notre région :Larache représente le Plateau de R'mel et les collines du Pré-Rif ,Kénitra représente la Plaine du Gharb et Fès représente la Plaine du Sais (voir carte no:1) .

Une étude comparative des nombres de jours de pluie et des durées des séquences peut renseigner sur les régions où dominant les Précipitations de courtes durées et sur les régions où les Précipitations durent plus longtemps .

Pour cette raison ,nous avons calculé les fréquences des séquences sèches et pluvieuses de différentes durées (figures n:12) .

Sur ces dernières ,on constate que les durées des observations ne sont pas de longueurs communes :Larache dispose de 22 ans d'observation seulement .Pour cette raison ,et pour que la comparaison ,entre les trois stations ,soit correcte ,nous avons calculé les fréquences des séquences pluvieuses pendant des périodes communes :1963-84 (voir tableau no:15) .A propos de ces derniers tableaux, on peut

(1)Nous disposons des relevés pluviométriques quotidiens de Ghédina et d'une autre station (M'nissa).Mais puisque ces relevés sont de courtes durées ,fragmentaires et que le pluviometre (à M'nissa) a subi un déplacement significatif ,comme nous verrons plus loin ,nous n'allons utiliser ces deux stations qu'accessoirement .

signaler les remarques suivantes : (1)

Le Plateau de Larache et les collines du Pré-Rif enregistrent Plus de jours Pluvieux et une hauteur annuelle moyenne supérieurs à celle des Plaines du Sais et du Gharb .

Malgré sa Pluviosité annuelle moyenne supérieure à celle du Sais ,le Gharb enregistre moins de jours Pluvieux que ce dernier (tab.no:16)

Cette remarque peut s'expliquer Par le fait que les Pluies, caractérisant notre arrière-Pays pendant l'été et une partie des saisons intermédiaires ,sont souvent de courte durée .Elles sont de type orageux .Ceci signifie que ces Pluies ,dont l'apport dans la Pluviosité annuelle est faible (2) ,sont la cause du nombre de jours de Pluie Plus élevé dans la Plaine du Sais que dans le Gharb .

Cette même remarque est confirmée Par des Paramètres relatifs aux stations de NEMSA ,ARBAOUA ET GHEDIRA (3). Ces trois stations enregistrent ,chacune ,une hauteur annuelle moyenne de Pluie supérieure et un nombre annuel moyen de jours Pluvieux inférieur à ceux de Fès .(4).La même remarque peut être faite en comparant entre les stations de Kénitra et d'Arbaoua .

(1) Cette étude accorde Plus d'importance aux jours Pluvieux .Les séquences sèches ne sont utilisées que Pour confirmer certains résultats .

(2) Comme nous verrons Plus loin .

(3) Les Paramètres concernant les stations d'Arbaoua et Nemsaa sont empreintés de la bibliographie n:116 .Par rapport à Fès ,ces deux stations sont Proches de la mer ;Nemsaa est à une distance de 15 Km et Arbaoua à 35 Km à vol d'oiseau .

(4) La hauteur annuelle moyenne est de 724 mm à Nemsaa et de 713 mm à Arbaoua .Le nombre annuel moyen de jours de Pluie est de 75 jours à Nemsaa et de 64 jours à Arbaoua .

Il est vrai que nous ne pouvons pas voir le nombre réduit de stations à notre disposition ,tirer de conclusions définitives .Mais nous pouvons tout de même avancer l'hypothèse suivante ,qui doit être prouvée par une étude basée sur un réseau de stations d'observation plus dense :en s'éloignant au fur et à mesure de la mer ,la fréquence de nombre de jours Pluvieux de courtes durées devient plus élevée .

3-1-2- LA DUREE DES SEQUENCES SECHES ET PLUVIEUSES .

En regardant les tableaux n°15 ,nous constatons que :

Quelle que soit la station ,les fréquences des séquences de courtes durées sont les plus élevées ,surtout la séquence de 1 jour .Cette dernière est toujours supérieure ou égale à 41 % de l'effectif total des séquences Pluvieuses .

La fréquence extrêmement faible des séquences dont la durée est égale à 5 jours .Dès que nous entrons dans les séquences de 6 jours ,les fréquences relatives tombent souvent en dessous de 3 % de l'effectif total des séquences .

Les fréquences des épisodes Pluvieux de durées comprises entre 2 et 6 jours inclus ne sont pas négligeables ,elles tournent autour d'une moyenne de 12 % .

Pour une même période d'observation ,la fréquence de jours de pluie de courtes durées (>4 jours) est plus élevée dans la plaine de l'intérieur que dans les régions du littoral (tab.no:16) .

Les épisodes Pluvieux de durées moyennes (de 4 à 6 jours inclus) n'ont pas de priorité :les séquences Pluvieuses de 4 et 5 jours sont plus fréquentes sur le littoral et celles de 6 jours sont plus fréquentes sur la plaine de l'intérieur .

Les séquences Pluvieuses de longue durée (>= 7 jours) sont plus fréquentes sur le littoral .Sur 22 ans d'observation, la plus longue séquence Pluvieuse a été de 11 jours à Fès ,de 16 jours à Kénitra et de 20 jours à Larache .

Les séquences Pluvieuses sont ,donc ,longues sur notre littoral et diminuent de durée en allant vers le Sud et

vers le Sud-Est .

En regardant les tableaux no:17 ,on remarque que les fréquences des nombres de jours secs diminuent en allant ,à partir du Gharb ,vers le Nord et vers l'Est ;le nombre annuel moyen de jours sans Pluie est de 284 jours à Kénitra ,281 jours à Fès et seulement 278 à Larache .Ce nombre annuel moyen de jours secs diminue relativement Plus vite en allant vers le Nord que vers l'Est.

Finalement ,le nombre annuel de jours secs ,dans les différentes régions composant notre terrain ,se caractérise Par une légère diminution en allant ,à partir du Gharb ,vers le Nord et vers l'Est .Concernant les durées des séquences Pluvieuses ,elles sont Plus longues sur le littoral que dans l'arrière-Pays .

Ces résultats ,auxquels nous sommes arrivés, sont basés sur les relevés de toute la période ;Quand nous calculions les séquences Pluvieuses nous ne distinguons Pas entre les mois .Et on se demande si les résultats seraient les mêmes en considérant les mois un Par un .

3-1-3-LES EPISODES PLUVIEUX MENSUELS :

Pour connaître les mois laissant la région de l'intérieur enregistrer Plus de jours Pluvieux et moins de séquences de longues durées ,nous avons cherché la fréquence des séquences Pluvieuses mois Par mois .En fait ,nous avons cherché ces fréquences juste Pour les mois allant d'octobre à mai .La Pluviosité des mois estivaux est négligeable .Une partie des résultats de ce travail est indiquée sur le tableau no:18 .

3-1-3-1-LE NOMBRE DE JOURS PLUVIEUX .

En regardant le tableau no:18 ,nous constatons que la Plaine du Sais enregistre Plus de jours de Pluie que les autres régions Pendant les mois de mars ,avril et mai .Entre novembre et février ,ce sont les autres régions qui l'emportent .Et Pendant les mois d'octobre ,le nombre de

Jours de Pluie observé dans le Saïs a été supérieur à celui observé dans le Gharb et inférieur à celui du Plateau de R'mel et du Pré-Rif .

En fait ,le nombre de jours Pluvieux varie dans le même sens que la Pluviosité .Pendant le Printemps ,les Précipitations et le nombre de jours Pluvieux augmentent dans la Plaine de l'intérieur .Cette augmentation s'observe sur le littoral pendant l'hiver et la fin de l'automne .

En considérant le nombre total de jours Pluvieux enregistré pendant les huit mois ,nous trouvons que la station de l'intérieur a enregistré 1620 jours ,Kénitra 1706 et Larache 1799.Donc ,pendant les mois allant d'octobre à mai ,la station de l'intérieur a enregistré moins de jours de Pluie que les deux autres .

En considérant la différence entre le nombre de jours de Pluie enregistré pendant toute l'année et celui enregistré pendant les huit mois allant d'octobre à mai ,on trouve que la station de Fès présente une différence de 219 jours ,Kénitra 121 et Larache 172 .

Nous concluons, Par cette simple opération de soustraction que l'intérieur de notre région reçoit ,pendant la saison d'été ,plus de jours de Pluie que le littoral .Et il faut signaler que ce dépassement commence au début du Printemps (mars) .

— La saison d'été se caractérise, dans notre arrière-Pays, par des Précipitations orageuses, connues par leurs faibles quantités .Et il apparaît, finalement, que c'est là qu réside l'explication du fait que l'intérieur enregistre plus de jours Pluvieux et une Pluviosité annuelle inférieure à celle du Gharb .

3-1-3-2-LES DUREES DES SEQUENCES .

Un nouveau coup d'oeil sur le tableau no:18 Permet de dégager les remarques suivantes :

Pour les séquences Pluvieuses de durée moyenne (= 4 jours) ,aucune dominance nette n'existe ;Pendant certains mois ,c'est le littoral qui présente les fréquences les Plus élevées .Pendant les autres mois ,c'est la région de l'intérieur qui les présente .

Pour les épisodes Pluvieux allant de 1 à 3 jours ,l'intérieur (Sais) enregistre ,de Plus en Plus ,les fréquences les Plus élevées ;il est trois mois sur 8 ,représentatif de la fréquence la Plus élevée de la séquence Pluvieuse de un jour ,4 mois sur 8 concernant la séquence de 2 jours et 5 mois sur 8 Pour celle de 3 jours .

Le nombre de mois Pendant lesquels l'intérieur détient les fréquences élevées des épisodes Pluvieux de longues durées (>= à 4 jours) est faible ;il l'est Pendant un mois sur huit concernant les séquences de 5 et de 10 jours et 2 mois sur 8 concernant la séquence de 6 jours .

L'intérieur enregistre ,souvent ,ses séquences Pluvieuses de longue durée Pendant le Printemps (saison normalement Pluvieuse) .

Ce sont les collines du Pré-Rif ,le Plateau de Larache et la Plaine du Gharb qui marquent les séquences Pluvieuses les Plus longues ;sur 22 ans ,la Plus longue séquence Pluvieuse a été de 11 jours à Fès (en avril 1969) ,de 16 jours à Kénitra (en décembre 1974) et de 20 jours à Larache (en février 1968) .

Dans le souci de comprendre les mécanismes laissant notre région se caractériser par cette répartition des séquences Pluvieuses (sèches), nous avons consulté le Bulletin Météorologique Européen (cartes à 12 T.U).

Ainsi, nous avons constaté que l'Air Polaire est le moteur des Pluies sur notre région. Dès qu'il peut largement submerger les masses chaudes et sèches, les Précipitations s'abattent et durent. Et quand il est en faibles coulées, il se dénature très vite et se dessèche en allant vers le sud et vers l'est. Donc, les légères différences inter-régionales, en nombre de jours de Pluie, peuvent s'expliquer, dans une large mesure, par des facteurs Géographiques Particuliers (situation latitudinale, distance à la mer...).

Afin de concrétiser cette constatation, nous avons pris trois exemples. Le premier présente le cas où les Précipitations s'abattent sur toute notre région, le deuxième correspond au cas où seul le littoral reçoit de la Pluie. Et finalement, le cas où seule la partie nord de notre littoral peut enregistrer des Précipitations.

Il est clair que nous ne pouvons pas certifier, en se basant sur trois exemples seulement, toutes les Particularités de la circulation sur le Maroc. Mais l'étude des types de temps sort de l'objectif de ce travail.

1er. exemple : En regardant les cartes no:5-A et B, nous constatons que la situation barométrique est favorable pour que toute notre région reçoive des Précipitations. L'anticyclone, au large du Maroc, et la dépression, au large de la Scandinavie (18/2), obligent les masses d'air du nord à survoler le Maroc à partir de son secteur nord-ouest. L'arrivée de ces masses d'air, fraîches et humides, déclenche les Précipitations sur toute notre région.

Presque la même situation, avec un décalage des grands centres d'actions vers le nord-est, fut observée le 1/2/1984 (carte no:5-C). Ce jour là, les vents étaient plutôt du secteur nord à nord-est.

Le 27,28 et 29/2/1984 (cartes n:5 -D,E,F), nous assistons à un autre type de temps. Pendant ces trois journées, une situation dépressionnaire a couvert toute notre région. Et en fonction du déplacement, vers l'est, du centre de cette dépression, notre région recevait des masses d'air du secteur s-w, w et n-w. L'arrivée de ces masses d'air a donné des précipitations sur toute notre région (annexe, P:157-159).

	27/2	28/2	29/2
Larache	16,5	28	29
Kénitra	9,7	4	11,5
Fès	1,8	5,5	0,2

2ème exemple : Le 3/2/1976, (carte no:5-G) nous constatons qu'un centre dépressionnaire (980mb) s'installe au large du Portugal. Cette dépression envoie vers le Maroc des masses d'air fraîches et humides. En fait, ces dernières ont simplement léché le littoral de notre région, sans "s'enfoncer" dans l'arrière-pays. Elles ont donné, comme précipitations, 5 mm à Larache, 4,3 à Kénitra et 0 mm à Fès.

Une situation différente, mais de conséquence, en matière de pluviosité, presque similaire à la précédente fut observée le 26/2/1984 (carte no:5-H). La dépression (1000 mb), au large de l'Espagne, a envoyé de faibles coulées qui ont donné, juste sur le littoral, quelques gouttes de pluie : 2,7 mm à Larache, 0,4 à Kénitra et 0 mm à Fès.

3ème exemple : Le 17/2/1976, un talweg barométrique couvrait notre région. Et les masses d'air influençant cette dernière sont surtout celles qui sont dirigées par la dépression centrée au large de l'Angleterre et par l'anticyclone des Açores (carte no:5-I). Arrivées au niveau du Maroc, ces masses d'air seraient bloquées par la dorsale de l'anticyclone des Açores qui couvre le sud

marocain, et ne toucheront que la partie nord de notre terrain. Cette situation permettrait à Larache seule d'enregistrer 9.2 mm contre 0 mm à Kénitra ainsi qu'à Fès.

Finalement, nous soulignons l'appartenance Polaire de notre région. Les Pluies résultent toujours des coulées froides originaires de la zone tempérée. Et les légères différences inter-régionales, en hauteurs et en jours de Pluie, s'expliquent, en partie, par les situations géographiques, la puissance des coulées et les obstacles imposés à ces coulées.

Pour conclure, nous disons :

Bien que les séquences Pluvieuses de courte durée s'observent au cours de toute l'année, ce sont celles de la fin d'automne, et surtout celles de l'été qui laissent l'intérieur (Sais) présenter plus de jours de Pluie par rapport au Gharb.

Le Sais enregistre, aussi, des séquences Pluvieuses de longue durée (entre 4 et 11 jours). Ces dernières s'enregistrent souvent pendant le Printemps.

La Plaine du Gharb, le Plateau de Larache et les collines du Pré-Rif présentent un nombre de séquences Pluvieuses de longue durée supérieur à celui du Sais. Ces séquences, contrairement à celles de courte durée qui sont plus fréquentes en automne et au Printemps, s'enregistrent souvent en hiver.

Jusque là, nous n'avons fait que décrire la répartition spatiale des nombres de jours et des durées de séquences Pluvieuses sur notre terrain. Et nous pouvons nous demander, vu la grande variabilité qui caractérise les Précipitations dans la partie Nord-Ouest du Maroc, si ces nombres de jours et ces durées de séquences ne subissent pas, d'une année sur l'autre, une variabilité du même ordre que les Précipitations ?

3-2-La variabilité inter annuelle.

Sous ce titre , nous envisageons d'étudier la variabilité de deux éléments: le nombre de jours de Pluie Par an et les séquences sèches et Pluvieuses de différentes durées. Cette étude nous Permettra , d'abord, de savoir si ces deux derniers Paramètres se caractérisent , comme les Précipitations , Par une Grande Variabilité inter-annuelle. Ensuite, elle nous Permettra de déceler si ce sont les séquences Pluvieuses de coutes durées ou bien celles de longues durées qui contribuent le Plus dans la Variabilité des Précipitations et des nombres de jours Pluvieux(secs)

Les méthodes employées Pour étudier cette variabilité sont du nombre de deux: Graphique et statistique.

La méthode Graphique consiste à calculer, d'abord, la moyenne qu'on retranche ensuite du total de chaque année.

Les différences ainsi obtenues se Présentent sur un Graphique contenant des années sur l'axe des abacisses et les différences sur l'axe des ordonnées.

La méthode statistique est basée sur l'emploi du coefficient de variation

3-2-1-La variabilité inter-annuelle des nombres de jours de Pluie.

L'application de la méthode Graphique à nos relevés quotidiens a donné le résultat indiqué sur les figures no:13 . Et, à Propos de ces dernières , nous pouvons signaler les remarques suivantes:

Généralement , la variabilité inter-annuelle des nombres de jours de Pluie , dans toute notre région , est considérable: certaines années, le nombre total de jours de Pluie dépasse (ou n atteint pas 75 %) 140 % du nombre de jours moyennement Pluvieux (1969,1981...sur la fig.n:13-A).

On Pourrait croire, en comparant entre la figure 13-A et 13-B , que la variabilité inter-annuelle des nombres de jours secs est supérieure à celle des nombres de jours

Pluvieux .Mais en sachant que la Partie N-W du Maroc enregistre ,et de loin ,plus de jours secs que de jours Pluvieux ,nous comprenons que la comparaison ne doit pas se Passer entre les différences absolues.En raisonnant en termes relatifs ,nous nous apercevons que ce sont les nombres de jours Pluvieux qui varient le Plus.

Nous avons Pris ,à titre d'exemple ,deux années (1969 sur la fig.13-A et 1965 sur la fig.13-B) dont les totaux annuels de jours secs et Pluvieux étaient les Plus élevés Par rapport aux moyennes .Ainsi ,nous avons trouvé que la différence de 41 jours ,entre le total de 1969 et le total annuel moyen de jours de Pluie à Kénitra représente 50,6 % du total annuel moyen.Mais ,la différence en jours secs ,entre le total de 1965 et le total annuel moyen à Larache ,représente 18,6 %.

Donc ,la variabilité inter-annuelle des nombres de jours Pluvieux est Grande Par rapport à celle des nombres de jours secs.

Cette dernière remarque est confirmée Par les coefficients de variation ;les coefficients de variation des totaux annuels de jours secs sont de 7,4 % à Fès ,8 % à Kénitra et 10,8 % à Larache .Les coefficients de variation des totaux annuels de jours de Pluie sont de 13,7 % à Larache ,15,3 % à Fès et 18,5 % à Kénitra .

Entre la fin des années 70 et le début des années 80 ,une diminution importante des nombres de jours Pluvieux apparaît dans toute notre région.

Et, Rappelons le ,notre région a reçu Pendant cette même Période des hauteurs de Pluie inférieures à la moyenne (fig.no:8).

Donc ,il y a ,ce qui d'ailleurs est normal ,une relation entre les hauteurs de Précipitations et les nombres de jours de Pluie .Les années 1963 et 1971 ,avec leurs Précipitations excédentaires sur toute la région et leurs nombres de jours Pluvieux supérieurs à la moyenne ,sont Présentes Pour le confirmer .

La variabilité inter-annuelle des nombres de jours

Pluvieux ,caractérisant la Plaine du Gharb est souvent supérieure à celle des autres régions ,surtout avant 1972 (voir les coefficients de variation ci-dessus).

La variabilité inter-annuelle des nombres de jours de Pluie ,dans l'ensemble de notre région ,n'évolue Pas toujours dans le même sens :en 1969 ,le Gharb et le Saïs enregistraient Plus de jours Par rapport à leur moyenne alors que le Pré-Rif et le Plateau de R'imel en marquaient moins .En 1979 ,c'était seulement le Saïs qui marquait un nombre de jours Pluvieux supérieur à sa moyenne annuelle .

Plus significative est la corrélation entre les nombres de jours Pluvieux dans les différentes régions formant notre terrain :le coefficient de corrélation linéaire est de 0,52 entre Kénitra et Fès ,de 0,34 entre Kénitra et Larache et de 0,14 entre Larache et Fès.

Ces trois coefficients de corrélation ne sont Pas bien significatifs.

Nous retenons ,de tout ce qui fut dit ,trois idées :

-Comme Pour les Précipitations ,notre région se caractérise Par une importante variabilité inter-annuelle des nombres de jours secs et Pluvieux .Et la variabilité de ces derniers est grande Par rapport à celle de jours secs .

-La variabilité des jours Pluvieux diminue en allant ,à partir du Gharb ,vers le Nord et vers l'Est.

-La variabilité inter-annuelle des totaux de jours Pluvieux ,dans les différentes régions formant notre terrain ,n'évolue Pas toujours dans un même sens.

3-2-2-La variabilité inter-annuelle des séquences de différentes durées :

L'application de la méthode Graphique ,citée Plus haut ,aux séquences Pluvieuses quotidiennes ,nous a permis d'obtenir la figure no:14 .

A Propos de cette dernière ,nous pouvons signaler les remarques suivantes :

Au début ,on a l'impression que la grande variabilité est Présentée Par les séquences Pluvieuses de 1 jour ,et que

cette variabilité diminue au fur et à mesure que les séquences deviennent plus longues. Mais, cette impression est illusoire : la fluctuation des "courbes" est influencée par les fréquences élevées des séquences de courte durée.

En se basant sur les valeurs des coefficients de variation des séquences Pluvieuses de différentes durées, nous nous rendons compte que, généralement, ce sont les séquences Pluvieuses de longue durée qui présentent les grandes variations. Et ces dernières deviennent plus élevées avec des séquences plus longues.

Il reste, tout de même, quelques nuances à signaler : Larache présente un coefficient de variation des séquences Pluvieuses de 1 jour (62 %) supérieur à celui de la séquence Pluvieuse de 2 jours (22,8 %), de 3 jours (36,8 %) et de 4 jours (60 %).

Pour Kénitra, le coefficient de variation de la séquence Pluvieuse de 2 jours (43,4 %) est supérieur à celui de la séquence de 3 jours (38 %).

La même remarque est valable pour les séquences sèches : la variabilité augmente en même temps que les durées des séquences. Pour Larache, Kénitra et Fès, les coefficients de variations sont, respectivement, de 27,8 %, 39 % et 42 % pour la séquence de 1 jour, de 45,8 %, 48 % et 56 % concernant la séquence de 2 jours et de 72 %, 110 % et 83 % concernant la séquence de 10 jours.

Donc, que ce soit pour les jours secs ou Pluvieux, les séquences de longues durées varient plus que celles de courtes durées.

Très souvent, la grande variabilité des séquences Pluvieuses de courtes durées est présentée par la plaine de l'intérieur (Saïa), et celle des séquences de longues durées est présentée par les régions du littoral. En prenant, comme exemple, la séquence Pluvieuse de 6 jours, on trouve que 53 %, 66 % et 111 % sont, respectivement, les coefficients de variation à Fès, à Larache et à Kénitra.

Pour les séquences sèches, nous constatons que la

Plus grande variabilité des séquences de courtes durées (< 4 jours) est présentée par la Plaine du Saïs et celle de longue durée (> 6 jours) est présentée par la Plaine du Gharb (voir les coefficients de variation ci-haut).

Pour savoir si, à l'échelle de toute notre région, les épisodes Pluvieux de longues durées ou bien ceux de courtes durées évoluent (ou non) dans un même sens, nous nous sommes servi de la méthode des coefficients de corrélation.

Ainsi, nous avons trouvé que, pour les séquences Pluvieuses de 1 jour, ces coefficients sont de 0,18 entre Fès et Kénitra, de 0,05 entre Fès et Larache et de 0,08 entre Kénitra et Larache. Pour les séquences Pluvieuses de longues durées (6 jours), ces coefficients sont de 0,12 entre Kénitra et Fès, 0,019 entre Fès et Larache et de 0,024 entre Kénitra et Larache.

Pour les séquences sèches de même durée, nous remarquons la même chose que pour les séquences Pluvieuses: le plus grand coefficient de corrélation est de 0,60, entre les séquences de 1 jour à Larache et à Kénitra.

Tous ces coefficients de corrélation ne sont pas bien significatifs. Ceci signifie que les séquences Pluvieuses (séquences sèches) n'évoluent pas dans le même sens dans notre région.

Nous pouvons résumer, tout ce qui a été dit, dans les points suivants:

-Les totaux annuels des nombres de jours Pluvieux (secs) varient considérablement d'une année sur l'autre.

-La variabilité des séquences Pluvieuses est supérieure à celle des séquences sèches de même durée.

-La variabilité des séquences Pluvieuses (secs) de longue durée est grande par rapport à celle de courtes durées. Ceci signifie que c'est la fréquence supérieure (ou inférieure), par rapport à la moyenne de ces longs épisodes, qui laisse notre région enregistrer plus (ou moins), par rapport à la moyenne, en jours Pluvieux (secs).

Cette variabilité, à l'échelle de toute notre région, peut s'expliquer, en grande partie, par la circulation en

altitude ; la fréquence des invasions des masses d'air d'origine Polaire ,génératrices de la Pluie sur notre région ,est variable d'une année sur l'autre .Elles dépendent des obstacles imposés Par le débordement des anticyclones tropicaux sur notre région .(122-37.P:36)

La variabilité à l'intérieur de notre région peut s'expliquer Par des conditions Géographiques : latitude ,exposition ,distance à la mer ,situation Par rapport aux reliefs ...

Ainsi , l'originalité du Plateau de Larache et des collines du Pré-Rif réside-t-elle dans la valorisation des circulations Générales les Plus septentrionales ,zonales d'Ouest ,où liées à des dépressions localisées sur la Méditerranée occidentale .Le Saïs , à l'inverse, s'individualise Par des situations localement complexes :entourage montagneux ,distance à la mer ,exposition aux vents du N-W ,altitude ...Le Gharb ,surtout sa Partie sud-ouest ,est influencé Par sa Proximité à la mer ,sa situation latitudinale ...

Ces conditions Géographiques Particulières expliquent ,en Grande Partie ,les légères différences inter-régionales en totaux annuels de jours de Pluie (secs) et les faibles corrélations des séquences de différentes durées .

Le sujet des séquences Pluvieuses (sèches),traité jusqu'à Présent nous a renseigné sur les totaux et la variabilité inter-annuelle des jours de Pluie (secs) ,sur la fréquence et la variabilité des séquences Pluvieuses (sèches) de différentes durées...Mais ,il reste à étudier le sujet des hauteurs de Précipitations enregistrées quotidiennement dans chacune de nos régions .Ce second sujet est aussi intéressant que le Premier :il Permettra de connaître les intensités quotidiennes dont l'apport est déterminant dans la Pluviosité d'un mois donné .

3-3-Les intensités journalières de Pluie .

Pour savoir si ce sont les faibles intensités ou bien celles élevées qui contribuent le plus dans la Pluviosité de notre région , nous nous sommes servis d'une méthode publiée en 1968 Par Péguy.Ch.P (127-128).

L'application de cette méthode à nos relevés quotidiens a permis de dresser la figure no:15 .

Concernant cette dernière , nous allons limiter notre commentaire aux intensités de Précipitations journalières et à leurs apports dans la Pluviosité de nos régions .Les régimes Pluviométriques moyens ,qu'on peut voir sur cette même figure ,sont traités dans la Partie précédente.

A Propos de cette dernière figure , nous soulignons les remarques suivantes :

Mis à Part les mois d'été et ceux de la fin du Printemps et du début de l'automne, l'apport de Précipitations quotidiennes, à faibles intensités dans la Pluviosité mensuelle moyenne est négligeable .D'ailleurs, les mois pendant lesquelles ces dernières sont relativement considérables dépassent rarement la hauteur de 30 mm.

Concernant les régions du littoral, l'apport dans la Pluviosité mensuelle ,augmente avec les intensités élevées .Pour l'arrière-Pays, l'intensité des Précipitations comprises entre 10 et 20 mm Par jour est celle des Précipitations supérieures à 20 mm contribuent presque également dans la Pluviosité .Et pendant certains mois, (février, mars et décembre) c'est la première intensité qui contribue le plus .

Nous avons vu précédemment que , en moyenne , les saisons recevant le plus de pluie , dans notre région , sont , dans l'ordre , l'hiver , le Printemps/ l'automne et l'été . Et maintenant , nous soulignons le fait que , pendant les trois premières saisons , les hauteurs de pluie reçues par notre région sont souvent déterminées par des intensités quotidiennes élevées . (≥ 10 mm/jour)

Ces deux remarques signifient que notre région se caractérise par des précipitations de type méditerranéen , malgré la fréquence élevée (supérieure à 50 %) des jours pluvieux dont les intensités sont inférieures à 4 mm/jour , ce sont les intensités élevées (≥ 10 mm/jour) qui contribuent le plus dans la pluviosité .

Après cette description sommaire des nombres de jours , des durées et de la variabilité des séquences sèches et pluvieuses , il serait tentant d'ajuster à une loi mathématique la fréquence de jours secs et pluvieux : en raison du grand nombre de données de base , un tel ajustement offre plus de garantie que celui que l'on pourrait faire des totaux annuels et mensuels successifs .

3-4-L'ajustement des séquences Pluvieuses et sèches :

Ajuster un modèle à une distribution empirique ,c'est Passer d'une variable observée ,c'est à dire d'un cas Particulier ,à un modèle qui élimine les détails Peu significatifs .La démarche consiste à :

-Faire l'hypothèse de la loi suivie Par la distribution observée (le choix de la loi à essayer est guidé Par l'examen de l'histogramme de fréquences observées ,des coefficients de dissymétrie et d'aplatissement ...)

-Tester la différence entre la distribution observée et cette loi.

-Accepter cette loi comme modèle ou en rechercher une autre .

Plusieurs lois Peuvent s'ajuster à une même distribution observée .Les Paramètres des variables ajustées Par une même loi deviennent directement comparables .

La modélisation fait donc Passer des fréquences observées aux Probabilités ,qui Permettent de généraliser à Partir de cas Particuliers et étayent en fait toute la statistique descriptive .

3-4-1-Le choix de la loi d'ajustement :

Pour ajuster les Précipitations quotidiennes de notre région ,nous avons essayé la loi binomiale négative ,qui correspond au schéma de G.Polya .Cette loi fut utilisée Par de nombreux auteurs (89,135,136,137...).Rappelons que dans la loi de G.Polya ,contrairement au schéma de Bernouilli ,la réalisation d' un événement augmente la Probabilité d'occurrence de ce même événement .En matière de climatologie

Cela signifie que ,Par exemple ,le fait qu'il pleuve un jour (J) augmente la Probabilité de pleuvoir aussi le lendemain (Jour J+1)

L'ajustement d'une séquence Pluvieuse ou sèche Par la loi binomiale négative exige le calcul Préalable de trois Paramètres (la moyenne :m ,la variance :S et le Paramètre de "contagion" :d .voir annexe P:8)

De la combinaison de ces trois Paramètres ,on tire l'expression :

$$P_i = P_{i-1} \frac{m+(i-1)d}{i(1+d)}$$

qui Permet de calculer les Probabilités et le nombre successif de fréquences Par durée .

La Probabilité des séquences de un jour de durée s'obtient Par l'expression :

$$P_1 = \frac{1}{m/d(1+d)}$$

Celle de deux jours de durée Par :

$$P_2 = P_1 \frac{m}{1+d} \quad (5)$$

Avant d'appliquer cette loi (binomiale négative)à nos données de base Pour voir si elle donne un bon ajustement ,il faut compter ,Pour chaque station et Pour chaque durée ,le nombre de fois où il a plu .Autrement dit ,il faut chercher les fréquences observées .Et c'est ensuite qu'on ajuste ces dernières fréquences Par la loi considérée .

L'application de la méthode décrite ci-dessus a Prmis d'obtenir les résultats affichés sur les tableaux no:15 et 19 .

Ces derniers donnent ,Par durée et Par stations ,les fréquences absolues observées ,les fréquences absolues et relatives théoriques (calculées) et les valeurs de Khi-Deux

InterPrétation des résultats :

Il existe toujours un écart entre les fréquences observées et les fréquences théoriques .Cette différence Provient soit du hasard ,soit de l'inadéquation de l'ajustement .Et le test de l'adéquation d'un modèle Probabiliste à une série statistique repose sur la mesure de cet écart .Si celui ci dépasse une valeur limite correspondant aux fluctuations aléatoires admises ,l'ajustement est rejeté ,dans le cas contraire ,il est jugé acceptable .

En fait ,il existe Plus d'un test d'adéquation .Pour notre cas ,nous avons choisi celui de Khi-Deux .

Les nombres de classes (K) au début ,n'étaient Pas égales Pour toutes les stations ;il y'en a certaines qui enregistrent des séquences Pluvieuses Plus longues que d'autres .Mais Puisqu'aucune des fréquences théoriques ne doit être inférieure à 5 % ,ou mieux à 10 % ,nous avons groupé des valeurs voisines Pour obtenir des effectifs de classes suffisants (75).Ainsi ,nous avons réduit l'effectif des classes à 6 :de 1 à 4 ,5 et 6 et les séquences supérieures ou égales à 7 jours .

Le nombre de degrés de liberté $V = K-1-R$.R est le nombre de contraintes imposées à la variable .Dans notre cas ,le nombre d'estimation de Paramètres introduits à Partir de données empiriques est de deux :m et d .Donc , $V = 6-1-2 = 3$.

Ici nous voulons signaler que nous avons pu mettre la main sur les relevés quotidiens de Pluie des stations (en plus des trois principales) de M'rissa-C.T et M'rissa-P (1). Pour ces deux dernières nous disposons des périodes d'observations allant de 1973 à 1978 pour M'rissa-P et 1949 à 1958 , de 1964 à 1971 pour M'rissa-C.T .

Les séries des séquences Pluvieuses de ces deux dernières ont été ajustées ,elles aussi ,Par la loi de G.Polya et ce. Pour voir si cette dernière convenait bien Pour l'ajustement des séquences quotidiennes dans le nord-ouest marocain .

En comparant les Khi-Deux donnés aux bas des tableaux (tab.no:15 et 19) avec les Khi-Deux théoriques donnés Par les tables ,au seuil de 95 % et Pour un nombre de degrés de liberté égal à 3 ,on s'aperçoit que les Khi-Deux calculés sont tous inférieurs à ceux donnés Par les tables .

Nous pouvons conclure ,en nous basant sur cette dernière comparaison ,que les séquences de jours de Pluie dans le N-W. marocain s'ajustent bien Par la loi binomiale négative .Et nous pouvons, donc ,nous baser sur ce modèle mathématique Pour tester la fiabilité des relevés d'un côté ,et Pour Prévoir la fréquence de jours de Pluie d'un autre côté .

(1) M'rissa-P : M'rissa-Pont . M'rissa-C.T:M'rissa Centre Agricole.Ces deux postes d'observation se trouvent à coté de la R.N no:2 ,à une distance d'environ 7 Km au N.W.DE Ksar-Kébir.La distance entre ces deux stations est d'environ 200m.L'altitude de la Première est de 10m,et celle de la seconde est de 23m

Là nous voulons ouvrir une parenthèse pour dire que les mêmes démarches, citées ci-dessus, pour utiliser la loi de G.Polya, ont été respectées pour l'ajustement des séquences pluvieuses mensuelles. Seulement nous n'avons ajusté que les relevés de huit mois : de octobre à mai. Les quatre mois de l'année qui restent reçoivent des précipitations négligeables.

Le résultat de cet essai est présenté sur les tableaux n°20. Et en se basant sur le test de Khi-Deux nous pouvons dire que les séquences pluvieuses mensuelles, elles aussi, s'ajustent bien par la loi de G. Polya. Bref, ce qui fut dit à propos des séquences pluvieuses à l'échelle de l'année est valable à l'échelle du mois.



Concernant les séquences sèches nous avons essayé de les ajuster par la même loi théorique. Le résultat de cet essai est indiqué sur les tableaux n°17. Sur ces derniers nous voyons que le plus petit des Khi-Deux calculés est présenté par la station de Kénitra : 35,04.

Et pour accepter le modèle de Polya.G comme loi convenable pour ajuster nos séquences sèches, les Khi-Deux calculés doivent être inférieurs à 7,81 (à 95 %) : condition qui n'est pas remplie !.

Nous pouvons conclure, finalement, que contrairement aux séquences pluvieuses, les séquences sèches ne peuvent pas s'ajuster par la loi de G.Polya.

Pour la fiabilité des relevés, nous pouvons dire que, puisque les fréquences observées de toutes les séquences quotidiennes de pluie s'ajustent bien par le schéma de G.Polya et qu'aucune des stations n'a présenté de Khi-Deux aberrant, les mesures étaient probablement prises de façon régulière et correcte.

Pour la Prévision de jours de Pluie nous Prenons comme exemple la station de Kénitra et nous lisons sur le tableau no:18-A que sur 24 ans si les conditions climatiques restent comme celles d'avant ,43 % des séquences Pluvieuses auront une durée de 1 jour ,22 % auront une durée de 2 jours ,13 % auront une durée de 3 jours...La Probabilité des fréquences est signalée sur nos tableaux elle correspond à la Première colonne après celle des durées .

Pour Prévoir les durées des séquences Pluvieuses dans toute notre région ,nous avons Procédé de la façon suivante :

Au début ,nous avons cherché les fréquences observées pendant une Période de même durée ,Pour les stations de Fès ,Kénitra ,Larache et M'rissa .Pour les trois Premières stations ,la Période est commune :1963-84 .Pour M'rissa ,et dans le but d'avoir un échantillon significatif ,nous avons réuni les fréquences observées pendant les Périodes de 1949-56 ,1964-71 et 1973-78 .

La démarche suivie Pour avoir les fréquences observées dans la station de M'rissa ,malgré les lacunes et le déplacement du Pluviomètre ,ne devrait Pas fausser le résultat .Ceci Parce qu'entre M'rissa-D.T et M'rissa-P il y a à Peine 200 m et ,surtout Parce que les Précipitations sont Plus liées aux Phénomènes astronomiques ;le Passage d'une Perturbation sur la région intéresse les deux stations en même temps .

Ensuite ,nous avons calculé la moyenne de ces séquences Pluvieuses observées Par les quatre stations .Et finalement ,nous avons appliqué la loi de G.Polya aux séquences Pluvieuses moyennes ,calculées Précédemment .

Le résultat de cette démarche est Présenté sur le tableau no:21 .

En comparant la valeur de Khi-Deux indiquée en bas de notre tableau avec le Khi-Deux donné par la table à 95 % et 3 degrés de liberté, nous pouvons dire que les séquences Pluvieuses dans toute notre région s'ajustent bien par le modèle de G.Polya .

En regardant le tableau no:21, nous constatons que la séquence Pluvieuse de 1 jour est de loin la plus fréquente ; elle a une probabilité de fréquence de 43 % .

Les séquences Pluvieuses de 2 et de 3 jours ont respectivement une probabilité de fréquence de 24 et de 14 %. La probabilité de fréquence de la séquence Pluvieuse de 14 jours est de 0,05 % .

En résumé, nous pouvons dire que, dans le nord-ouest marocain, la probabilité de fréquence diminue avec les séquences Pluvieuses les plus longues .

3-4-2-1 l'ajustement des hauteurs quotidiennes de Pluie .

Avant d'essayer telle ou telle loi d'ajustement nous proposons une description sommaire des fréquences de hauteurs de Pluie Pour avoir une idée sur ces dernières et sur leur répartition dans notre terrain .

Pour ce faire nous avons cherché les fréquences observées des hauteurs de Pluie Pour les intensités allant de 0,1 à 55 mm et Plus Par jour .Ainsi ,la Première classe est limitée Par les seuils de 0,1 et 1 mm ,la seconde Par 1,1 et 2 mm Par jour ...

Les fréquences obtenues sont Présentées sur les figures no:16 .

Nous constatons que les relevés quotidiens de Ghédira et de M'rissa ne sont Pas utilisés ici .Ceci Pour des raisons Parmi lesquelles il y a :les durées de ces relevés sont inférieures à 15 ans (127),les échantillons ne sont Pas représentatifs (1)...

A Propos de ces dernières nous signalons les remarques suivantes :

(1) Pour la station de Ghédira ,la durée des relevés à notre disposition correspond à la Période relativement sèche qu'a connu le Maroc Pendant la fin des années 1970 et le début des années 1980

-Les trois distributions sont unimodales . Cette remarque peut s'expliquer par la fréquence élevée des précipitations à faibles intensités . D'ailleurs , les pluies quotidiennes comprises entre 0,1 et 1 mm sont , de loin , les plus fréquentes ; 566 jours sur 2019 à Fès , 524 sur 1945 à Kénitra et 516 jour sur 1963 à Larache . Nous constatons , en plus , que le plus grand des écarts entre deux seuils consécutifs est celui compris entre les deux premières intensités .

-Au fur et à mesure que les intensités deviennent plus fortes , les fréquences deviennent plus faibles . Et cette décroissance en fréquence n'est pas monotone ; à titre d'exemple , Kénitra a enregistré , pendant ses 24 ans d'observations , 12 fois une intensité quotidienne comprise entre 26,1 et 28 mm et seulement 5 fois une intensité comprise entre 25,1 et 27 mm ... En fixant bien les figures , nous nous apercevons que les exemples de ce genre ne sont pas rares .

-Les stations de Fès et de Kénitra ont une même période de mesure et se situent , à un degré près , sur la même latitude . Et malgré ces points communs , la première station enregistre plus de jours de pluie de faibles intensités que la seconde : 566 contre 524 pour l'intensité inférieure à 1 mm par jour .

-Située au nord et au nord-ouest par rapport aux autres stations , Larache se caractérise , par rapport aux autres , par une fréquence relativement élevée des précipitations à fortes intensités .

Nous pouvons résumer ces constatations en disant que les précipitations les plus abondantes dans notre région sont celles à faibles intensités quotidiennes . En plus , ces dernières sont plus fréquentes dans l'intérieur , et celles à fortes intensités caractérisent , plutôt , le littoral

Nous constatons, finalement, que les remarques signalées à propos des séquences de jours de pluie restent valables quand on étudie les précipitations quotidiennes décomposées en intensités. Les séquences pluvieuses de courtes durées et les faibles intensités de pluie sont les plus fréquentes dans notre région, surtout dans l'intérieur. Les séquences pluvieuses de longues durées et les fortes intensités de pluie sont, relativement, plus fréquentes sur le littoral.

Pour ajuster nos trois séries de fréquences observées relatives aux intensités de pluie par jour, nous avons essayé différentes lois théoriques. Parmi ces dernières, nous avons essayé la loi de G. Polya, celle de Gumbel, la méthode des moindres carrés... Mais dans tous les cas, l'ajustement n'a pas donné de bons résultats.

Vu le manque de temps, nous n'avons pas persévéré dans la recherche d'autres lois. Et nous nous sommes principalement servi d'une méthode relativement simple (127).

Cette méthode consiste à chercher les fréquences observées qu'on transforme, ensuite, en fréquences relatives. Puis on cumule ces dernières d'une façon rétrograde. Le résultat obtenu se présente sur du papier Gausso-logarithmique. La base 100 représente le nombre total de jours de précipitations au cours de la période considérée.

L'application de cette démarche nous a permis de dresser les figures n:17.

Nous constatons que les courbes de ces dernières figures ont presque une même allure. Cela signifie que les précipitations enregistrées par les trois stations sont d'intensités presque égales. Mais, en fixant bien les

chiffres , nous nous apercevons que , Pour les trois stations , la moitié des jours ou il Pleut, les Précipitations atteignent ou dépassent la hauteur de 3 mm . Cela revient à dire que la médiane des Précipitations , Pour les trois stations , est de 3 mm .

Là , nous ouvrons une Parenthèse Pour signaler l'inexactitude de la notion de la moyenne : en cherchant l'intensité quotidienne moyenne des Précipitations (1) , on trouvait que Larache Présente une intensité de 7,9 mm/jour , Kénitra : 7,3 et Fès 6,2 mm/jour . Cela signifie qu'en se basant sur la moyenne , on surestime l'intensité de Pluie quotidienne dans le N-W du Maroc .

Encore faut-il dire, Pour revenir à nos figures , que les Précipitations quotidiennes ont dépassé , Pour 25 % des cas , l'intensité de 8 mm à Fès , de 9 mm à Kénitra et de 10 mm à Larache . On constate encore que Pour 5 % des cas , les Précipitations ont dépassé l'intensité de 22 mm Par jour à Fès , de 27 mm / jour à Kénitra et de 32 mm / jour à Larache . L'ordre de grandeur de la fréquence des Précipitations supérieures à 50 mm Par jour est ainsi de 0,2 % du nombre total de jours de Pluie à Fès contre 0,7 % à Kénitra et 1 % à Larache .

—
Finalement , nous pouvons dire que les Précipitations à faibles intensités (< 4 mm / jour) sont les Plus fréquentes dans la Partie nord-ouest du Maroc (50 % de jours Pluvieux sont d'intensités inférieures ou égales à 3 mm) , et que les Précipitations de grandes intensités , relativement moins fréquentes Par rapport aux premières , diminuent de fréquences en allant vers le sud et en s'éloignant de la mer .

(1) On calcule l'intensité quotidienne moyenne en divisant la hauteur annuelle moyenne de Pluie Par le nombre total moyen de jours de Pluie Par an .

3-4-3- L'ajustement des hauteurs extrêmes de Pluie :

Il est vrai que la Partie N-W. du Maroc souffre ,d'abord ,du manque d'eau .Mais elle souffre aussi des "inondations" (l'hiver 1962-63 dans le Gharb) .Heureusement ,la fréquence de ces catastrophes naturelles est faible et que la Politique agricole marocaine accorde une grande importance à la construction des barrages .

Les inondations sont fonction des conditions climatiques ,morphologiques ,topographiques ,...Concernant les conditions climatiques ,ce sont ,surtout ,l'intensité et la durée des Précipitations qui interviennent au Premier abord .

Pour cette raison ,nous envisageons ,ici, l'étude des Précipitations maximales que peut enregistrer notre région et pour les différentes durées .

Pour ce faire ,nous avons cherché ,pour chaque station et pour chaque année ,la hauteur de Pluie la Plus élevée qui fut enregistrée pendant 1 jour ,pendant 2 jours ...5 jours et pendant 10 jours .

Le choix de ces durées a ses raisons :

D'abord ,les courtes durées (\leq à 3 jours) ,elles furent choisies car elles sont les Plus fréquentes (+ 50 % de jours de Pluie).Ce serait perdre une grande Partie de l'information que de ne pas les étudier .

Les durées longues (10 jours) étaient retenues parce que ,d'abord ,leurs apports dans la Pluviosité sont considérables et parce que leurs réalisations peut ,à certaines réserves ,déclencher des Problèmes de transport ,d'agriculture ... (les inondations)

Signalons que nous avons cherché des hauteurs quotidiennes maximales en considérant des séquences Pluvieuses discontinues (1) .Ceci Parce qu'en considérant ces dernières , nous ne nous éloignons Pas trop de la nature des Précipitations (un jour sec séparant deux séquences Pluvieuses n'a Pas suffisamment de temps Pour évaporer de grandes quantités d'eau .Et Parce qu'un essai d'ajustement des hauteurs extrêmes des séquences Pluvieuses continues n'a Pas donné de bons résultats (86)

En Procédant de cette façon , nous avons obtenu sept séries de hauteurs quotidiennes maximales relatives à sept stations .Puis , nous avons essayé de trouver une loi théorique qui Pourrait ajuster au mieux ces dernières séries .

Choix de la loi théorique d'ajustement .

Il y a Plus d'une seule méthode Permettant d'ajuster les hauteurs maximales de Pluie Par durées de séquences .Parmi ces méthodes , certaines sont graphiques et d'autres sont mathématiques (5).

Concernant le Présent travail ,et après quelques vaines tentatives d'ajustement Par différentes lois théoriques , nous avons utilisé celle de Gumbel .D'abord Parce qu'elle donne un bon résultat et ensuite Parce que nous avons

(1) :Nous entendons Par séquence Pluvieuse discontinue une séquence Pendant laquelle il a plu ou non .Par exemple ,deux séquences Pluvieuses continues ,une de 2 jours et une autre de 3 jours ,séparées Par un jour sec ,sont considérées comme une séquence Pluvieuse discontinue de 6 jours.

Préférentiellement les droites d'ajustement aux courbes, car elles (les droites) limitent mieux les erreurs d'ajustement.

Rappelons que pour se servir de la loi de Gumbel, il faut classer, tout d'abord, les hauteurs maximales de Pluie par ordre croissant et ensuite chercher la fré-

quence empirique cumulée $F(X) = \frac{m}{n+1}$ où

$F(X)$ = La fréquence empirique cumulée.

m = Le rang de la valeur maximale dont on cherche la probabilité.

n = L'effectif total des valeurs maximales (ici, il est égal au nombre d'années d'observations).

Ces fréquences empiriques cumulées se présentent sur un graphique semi-logarithmique. Et pour les ajuster, il faut revenir à la loi de Gumbel dont l'expression est la suivante :

$$F(H) = e^{-e^{-\frac{H-a}{b}}}$$

Où :

$F(H)$ = La distribution des fréquences relatives cumulées (croissante).

H = La hauteur de Pluie (le maximum annuel dans notre cas).

a et b = Sont des constantes, $a > 0$.

$$U = aH + b = -\log(-\log(F(H))).$$

A partir de cette dernière équivalence, on peut calculer des équations de droites qui ajustent la distribution cumulative des probabilités de non dépassement des hauteurs extrêmes. La résolution de l'équivalence peut se faire par la méthode des moindres carrés.

Une fois les valeurs des constantes " a " et " b " de l'expression $U = aH + b$ obtenues, il suffit de les

remplacer dans la formule F(H) pour obtenir la Probabilité de non dépassement d'une hauteur extrême donnée .

Puis ,on teste la qualité de l'ajustement, soit Par le coefficient de corrélation ,soit Par le test de Khi-Deux ,soit Par ...Dans le cas où l'ajustement est bon ,on peut tracer la droite de Probabilité de non dépassement sur le même graphique où sont Présentées les fréquences empiriques cumulées .

Concernant la durée de retour T(H) ,on peut l'obtenir aisément en appliquant la méthode suivante :

$$T(H) = \frac{1}{1-F(H)}$$

La durée de retour T(H) peut se présenter elle aussi ,sur le même graphique avec les fréquences empiriques cumulées et celles estimées Par la loi de Gumbel .

Pour appliquer cette dernière loi aux Précipitations quotidiennes dans le N-W du Maroc ,nous avons ajusté les sept séries de hauteurs quotidiennes maximales ,citées Plus haut ,Par la formule F(H) .Ainsi ,nous avons obtenu les Probabilités de non dépassement de toutes les hauteurs extrêmes .

Puis ,nous avons calculé ,Pour tester la qualité de l'ajustement, les coefficients de corrélation entre les fréquences empiriques cumulées et celles estimées Par la loi de Gumbel .Les valeurs de ces derniers ,ainsi que celles des constantes "a" et "b" sont Présentées sur le tableau no:22

Nous constatons sur ce dernier que le Plus faible des coefficients de corrélation est de l'ordre de 0,84 (M'rissa-P, 1973-78, durée de 2 jours).Et en consultant la

table, nous trouvons que ,au seuil de 95 %, Pour un nombre de degré de liberté égale à 6 ,la valeur donnée est de 0,76

Donc ,Puisque tous les coefficients de corrélation calculés sont supérieurs à ceux donnés Par la table ,nous concluons que les Précipitations quotidiennes maximales du N-W du Maroc s'ajustent bien Par la loi de Gumbel

Comme nous Pouvons le constater en regardant le tableau no:22 ,les durées des observations de 4 stations sur 7 sont inférieures à 15 ans .Et un ajustement basé sur une courte Période d'observations ne Peut Pas être très sûre .Pour cette raison ,nous n'avons gardé que les trois stations disposant d'une durée d'observations supérieure à 20 ans ,Pour les Présenter sur le graphique de Gumbel .Le résultat de cette démarche est Présenté sur les figures no:18 .

Nous constatons sur ces dernières que les hauteurs maximales de Précipitations relatives à la séquence de quatre jours ne sont Pas figurées.La raison est, qu'au cours de nos Premiers essais ,nous avons Présenté les droites d'ajustement de toutes les séquences Pluvieuses indiquées sur le tableau no:22 .Mais ,nous avons beaucoup de difficultés Pour la lecture des graphiques :les droites et les signes représentatifs des séquences Pluvieuses de 3 ,de 4 et de 5 jours se croisaient (se confondaient) et rendaient difficile le commentaire des résultats .Pour cette raison ,la clareté de l'exposé ,nous avons Préféré ne Pas Présenter les Précipitations maximales de la séquence de quatre jours .

Signalons que les droites d'ajustement des séquences Pluvieuses allant de deux à cinq jours se croisaient Parce que les écarts en hauteurs de Pluie ,entre ces quatre séquences ,sont très faibles ,Parfois nuls ,surtout Pour les faibles valeurs (< 70 mm) et Pour les durées de retours inférieures à 1,5 ans (18 mois) .

La lecture de nos graphiques est simple ,il suffit de :

-lever une Perpendiculaire à l'axe des abscisses à partir de la hauteur considérée jusqu'à la droite d'ajustement représentant la durée de la séquence voulue .

-tracer une Perpendiculaire à l'axe des ordonnées (à gauche)à partir du point repéré précédement sur la droite d'ajustement .

-lire sur l'axe des ordonnées (à gauche) la Probabilité de non dépassement de la hauteur considérée .

-Prolonger cette dernière Perpendiculaire jusqu'à l'axe des ordonnées (à droite) et lire directement la durée de retour .

En comparant entre les trois graphiques ,nous nous rendons compte ,facilement ,de la Pluviosité ,relativement considérable sur les régions du littoral ;l'intensité de 260 mm en 10 jours ,qui a la Probabilité de non dépassement de 96 % à Larache et à Kénitra ,est de 100 % à Fès .Cela signifie que pour Larache et Kénitra ,la hauteur de 260 mm /10 jour est censée être dépassée une fois sur 25 ans ,alors qu'à Fès cette hauteur n'a jamais été atteinte en 10 jours .

Ce résultat n'a ,d'ailleurs rien de nouveau ,il ne fait que confirmer ses précédents ;la Pluviosité caractérisant les régions du littoral est plus intéressante par rapport à celle de l'arrière-Pays .

Nous pouvons comparer entre le littoral et l'intérieur en considérant ,en même temps ,les Probabilités de non dépassement et les durées de retour pour une intensité de pluie donnée .

Pour ce faire nous avons pris certaines hauteurs auxquelles nous avons cherché ces deux derniers paramètres (tableau no:23) .

L'idée essentielle à retenir de ce dernier, est le fait que pour toutes les intensités les régions du littoral (représentées par Larache et Kénitra) marquent des probabilités de non dépassement faibles et des durées de retour courtes par rapport aux régions de l'intérieur (présentées par Fès) .Ceci signifie que par rapport à l'intérieur les intensités de pluie sont plus élevées et les durées de retours sont plus courtes sur le littoral .

Finalement vu les figures no:18 et contrairement au plateau du Saïs ,le plateau de R'mel de Larache ,les collines du Pré-Rif et la plaine du Gharb ont plus de chance de recevoir des intensités de pluie susceptibles d'engendrer des inondations .

Conclusion:

Nous pouvons conclure les résultats de cette partie dans les points suivants :

Comme pour les hauteurs mensuelles de précipitations, la variabilité inter-annuelle des nombres de jours de pluie (secs) est considérable. Et il apparaît que ce sont les séquences ~~de~~ sèches de longues durées qui contribuent le plus dans cette variabilité.

L'arrière-Pays enregistre plus de jours Pluvieux de courte durée que le littoral. En ce qui concerne les séquences Pluvieuses de longue durée, c'est le littoral qui l'emporte.

Si les séquences Pluvieuses de courte durée sont plus fréquentes dans l'intérieur, en été, celles de longue durée sont plus fréquentes au printemps. Le littoral enregistre ses plus longues séquences Pluvieuses en hiver.

Les faibles intensités quotidiennes de pluie sont plus fréquentes dans notre région, surtout dans l'arrière-Pays. Quant aux précipitations à fortes intensités quotidiennes, les stations du littoral en enregistrent plus que celles de l'intérieur.

En décomposant les précipitations mensuelles en apport d'intensités quotidiennes, nous nous apercevons que ce sont, surtout, les fortes intensités journalières (\geq à 10 mm/jour) qui déterminent la pluviosité dans notre région.

Contrairement aux séquences sèches, les séquences Pluvieuses mensuelles et annuelles s'ajustent bien par la loi binomiale négative.

Enfin, nous nous sommes servis de la loi de Gumbel pour ajuster nos séries de hauteurs maximales de pluie. Le résultat est que pour les séquences pluvieuses discontinues de différentes durées, le littoral se distingue de l'intérieur par de faibles probabilités de non dépassement et par de courtes durées de retour et ce pour toutes les intensités et toutes les durées.

Ce dernier résultat signifie que notre région est menacée par les "inondations" (le débordement de Oued Sebou et ses dégâts humains et matériels dans la plaine du Gharb pendant l'hiver 1962-63). Vu la figure no:18, nous pouvons dire que la plaine de Saïa est moins menacée par ces risques naturels par rapport au reste de notre région.

Il reste à signaler que vu les relevés de mesures à notre disposition, ces résultats sont basés sur les observations pluviométriques de trois stations seulement : les relevés des stations de Ghédira et de M'riassa sont ou bien de trop courte durée (< 15 ans) ou bien "peu représentatifs". Donc, ces résultats seront considérés avec attention et doivent être confirmés par une étude basée sur un réseau de stations d'observations plus dense (projet de nos études antérieures).

4- L'ETP. ET LE BILAN HYDRIQUE .

4-1- L'ETUDE DE L'ETP. ET DU BILAN HYDRIQUE .

4-2- LA CONDUITE DES METHODES EMPLOYEES .

4-3- LA DESCRIPTION SPATIALE DE L'ETP.

4-4- LA RELATION ENTRE L'ETP. ET LES

DIFFERENTS ELEMENTS DU CLIMAT .

4-5- L'ETUDE DE LA VARIABILITE .

4-5-1- La variabilité de l'ETP.

4-5-2- La variabilité des bilan climatiques .

4-5-3- Les régimes Probables des déficit
d'évaporation .

4-L EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ET LE BILAN HYDRIQUE .

INTRODUCTION .

Nous venons de conduire dans les trois précédentes sections de ce travail l'étude des Précipitations d'une façon strictement analytique. Mais nous savons que l'efficacité de cet élément climatique est conditionnée par certains autres éléments concomitants du climat .Pour cette raison, nous allons essayer de combiner les éléments entrant en jeux avec les Précipitations Pour déterminer l'humidité de notre région. En d'autres termes, nous allons estimer l'ETP, et ensuite nous allons étudier la variabilité des éléments du bilan hydrique.

Nous proposons d'étudier ici l'ETP, et le bilan hydrique parce que l'économie de la région intéressée par la présente étude est basée surtout sur des activités agricoles. Activités dont la rentabilité dépend de l'irrigation et de son organisation. L'irrigation ne peut être efficace seulement si elle est basée sur des connaissances précises du cycle de l'eau: le bilan hydrique.

A la tête des composantes d'un bilan hydrique il y a l'ETP. Et vu les relevés de l'ETP, mesurée à notre disposition (tab.no:1), nous sommes amenés à calculer ce dernier Parametre . Ceci parce que les relevés dont on dispose sont de courtes durées (Ghédina...) , douteux (Larache).

Pour l'évaluation de l'ETP, la méthode de Penman est incontestablement la meilleure; ses résultats se calquent souvent sur des valeurs de l'ETP, mesurée (14,63,90,...)Mais, vu les moyens dont nous disposons, nous ne pouvons pas appliquer cette dernière formule à tout notre réseau de stations ;l'emploi de la formule nécessite, comme on le verra, la connaissance d'au moins quatre éléments

climatiques.

Dans le but d'avoir l'ETP. de toute notre région, nous allons nous servir des méthodes de THORNTHWAITE et de TURC ,méthodes nécessitant moins de données climatiques .Ensuite, et en se basant sur des coefficients de corrélations, nous allons chercher des coefficients correctifs régionaux Par lesquels nous pouvons multiplier l'ETP de Thornthwaite ou bien de Turc Pour avoir l'ETP. de Penman.

Dans le cas où la corrélation ne serait bonne, ni entre l'ETP. Turc/Penman, ni entre l'ETP.Thorntwaite/Penman, nous envisageons de nous servir exclusivement de la méthode de Penman et en n'utilisant que les cinq stations disposant des relevés nécessaires Pour l'application de cette méthode .

Dans ce dernier cas, nos résultats seront basés sur un nombre restreint de stations (ces résultats ne seront peut être pas très sûrs mais valent la peine d'être réalisés .

L'évaluation d'un bilan hydrique exige en effet une synthèse parfaite de tous les éléments physiques du milieu (précipitations, évaporation, écoulement, humidité du sol et du sous-sol, ...Et un bilan hydrique dressé en se basant sur les mesures précises de ces éléments se révèle scientifique et utile.

Scientifique, puisque la mesure précise de tous les éléments garantit seule la connaissance exacte du milieu géographique .

Utile, puisque cette connaissance chiffrée permet de connaître sans équivoque les besoins du milieu ;dans le cas présent, le nombre de mètres cubes qu'il faut

donner à chaque hectare pendant l'été et le moment le plus opportun de l'arrosage .

Le bilan hydrique est simple dans son principe, il s'agit de résoudre l'expression : $P - (E + D + R)$ (123) où

P = les précipitations .

E = l'évaporation .

D = l'eau évacuée par les rivières .

R = l'eau en réserve dans le sol .

N.B: Toutes les valeurs sont exprimées en mm d'eau .

4-1-L ETUDE DE L'ETP ET DU BILAN HYDRIQUE .

4-1-1-LES TERMES DU BILAN HYDRIQUE .

Dresser un bilan hydrique revient à combiner les différents éléments physiques (climatiques, pédologiques, agronomiques,...) qui interviennent dans le cycle de l'eau. A la tête de ces éléments, il y a :

-Les précipitations (solides, liquides ou occultes) sont considérées comme les entrées dans le bilan hydrique d'un bassin versant par exemple .

-L'ETP.(1) : C'est une notion théorique signifiant l'évaporation maximale d'une surface donnée si le sol était continuellement ravitaillé en eau .

L'ETP peut être évaluée selon deux voies : soit la voie de mesure à l'aide de dispositifs appropriés, soit celle de l'évaluation par l'intermédiaire de formules faisant intervenir des données atmosphériques plus ou moins nombreuses .

-L'ETR. : D'une façon très simple, l'ETR.(1) est la restitution de l'eau à l'atmosphère dans les conditions naturelles du milieu physique .Autrement dit, c'est la vaporisation à partir de surfaces d'eaux libres, stagnantes ou non, et de surfaces terrestres, sols et végétaux en premier lieu .

(1) Dans tout ce qui suit, les évapotranspirations potentielle et réelle seront exprimées sous leurs formes abrégées ETP. et ETR.

-La réserve utile : L'eau restituée vers l'atmosphère par l'ETR, provient des précipitations et de la réserve utile dans le sol. Cette dernière signifie, donc, la quantité d'eau emmagasinée par le sol. Il faut préciser que la réserve utile commence à alimenter l'ETR, quand les précipitations deviennent inférieures à l'ETP. Et il faut ajouter que la réserve utile ne restitue pas toujours vers l'atmosphère toute la quantité d'eau représentant la déficience mensuelle $ETP - P$. Thornthwaite pensait que la plante puise toute l'eau qui lui manque pendant le premier mois d'été seulement (1). Ensuite, elle ne prélève qu'une fraction de plus en plus petite de ses besoins, c'est à dire du déficit $ETP - P$. En effet, la plante est empêchée de puiser dans le sol la totalité de son déficit pour trois raisons :

*Plus la réserve utile diminue, plus les forces hygroscopiques croissent.

*La longueur des racines est généralement trop faible pour explorer toute la profondeur de la réserve utile.

*L'ETP, connaît des points très élevés pendant les après-midi chauds et ensoleillés. A ce moment, les plantes ferment leurs stomates, n'évaporent plus, cessent de puiser dans le sol et vivent au ralenti.

En fait, certains auteurs, pour calculer la réserve utile, font intervenir des facteurs plus ou moins nombreux. Certains font intervenir, entre autres, la nature du sol, la pente de la parcelle, la dynamique de l'eau dans le sol, la longueur des racines ...

(1) Un mois d'été hydrologique est celui durant lequel $P - ETP$ est inférieur à 0.

4-1-2-LES METHODES DE CALCUL DE L'ETP.

Avant de calculer l'ETP., il paraît raisonnable de présenter d'abord les trois formules utilisées dans ce travail, permettant d'évaluer ce Paramètre climatique. Pour plus de détails sur les formules et sur les tables et abaques facilitant leur emploi, nous renvoyons le lecteur à l'article de synthèse de Lecarpentier.C.(90)(1).

4-1-2-1-La formule de Thornthwaite : Cette formule exige un minimum de données climatiques (seule la température de l'air est prise en compte). Il est évident, toute-fois, que la simplification est poussée à son extrême. Par exemple, le fait que cette méthode ne considère pas l'apport advectif en énergie, elle sous estime l'ETP. des littoraux (18,123,...).

4-1-2-2-La formule de Turc : Après une période d'expérience et d'ajustement sur cases lysimétriques exprimant l'ETP. d'un bassin versant, et après la mise au point d'une gamme de formules (la première en 1954), Turc finit par élaborer en 1960 sa formule F-60 (la formule de 1960) que nous allons utiliser dans ce travail.

L'emploi de la formule F-60 nécessite la connaissance des mesures de la radiation globale. Et dans le cas où ce dernier élément n'est pas mesuré directement, ce qui est fréquent, il peut se déduire de l'insolation relative h/H (des tables permettent d'éviter certaines opérations fastidieuses et facilitent l'obtention de h/H (la durée d'insolation mesurée sur la durée du jour) à partir de h , de la date et de la latitude).

(1) Pour les trois formules permettant l'évaluation de l'ETP. voir notre annexe statistique.

Dépourvue de tout coefficient cultural ou régional, la formule de Turc donne, en général, des résultats satisfaisants .

4-1-2-3-La méthode de Penman :C'est la Plus rigoureuse des formules . Les lois de l'évaporation confirmées Par les expériences courantes montrent en effet que quatre facteurs agissent sur l'ETP. :la température de l'air, la radiation, l'humidité et le vent .Précisément, Penman Prend compte de ces quatre éléments .

Pour certains chercheurs, la méthode de Penman sert de référence Pour l'étalonnage de formules Plus simples .Mais malgré cet avantage, la formule Présente quelques inconvénients :

-Sans l'usage des tables et abaques qui l'accompagnent, la formule exige des calculs fastidieux et très longs .

-Elle nécessite la collecte d'un grand nombre de données dont certaines ne sont mesurées que dans les stations les mieux équipées .

Finalement, la méthode de Penman, considérée comme la Plus satisfaisante sur le Plan théorique, s'avère aussi très sûre ;ses résultats se calquent souvent sur les valeurs de l'ETP, mesurée(14) .

4-2-LA CONDUITE DES METHODES EMPLOYEES :

Comme pour toute étude climatique, nous avons rencontré des Problèmes .A la tête de ces derniers, vient celui des données manquantes .Et pour surmonter cet handicap, nous nous sommes servis, selon les cas, des méthodes suivantes :

4-2-1-Les Problèmes du calcul de l'ETP.

4-2-1-1-La méthode de Turc:La méthode de Turc (F-60) exige la connaissance des mesures, d'au moins, deux éléments climatiques :la température et la radiation globale .Et nous avons vu que certaines de nos stations disposent seulement des mesures thermométriques et Pluviométriques (tab.no:1) .Donc, nous étions obligés d'estimer les valeurs de la durée d'insolation.Pour les stations qui n'en disposent pas, afin de pouvoir évaluer, pour ces dernières, la radiation globale .Ceci, évidemment dans le but d'appliquer la formule de Turc à toutes nos stations .

L'estimation des valeurs manquantes de la durée d'insolation était basée, entre autre, sur les résultats d'un travail publié en 1983 par Bahraoui-Bouret,J.et al .En fait, la partie du travail intéressant notre étude peut se résumer par le fait que toute notre région se caractérise par une durée d'insolation annuelle presque égale (6.P:101).

En Plus, l'estimation de la durée d'insolation Pour une station donnée a Pris en compte la distance de cette dernière à la mer (1), sa distance à (aux) la station (s) d'après laquelle (s) on devrait estimer, sa situation Par rapport aux montagnes...

Basée sur ces critères, nous avons estimé les durées d'insolation Pour les stations de :

- Meknès d'après celle de Fès .
- Tlata de Raissana d'après celle de Larache .
- Sidi-Sliman d'après celle de Kénitra .
- Sidi-Kacem d'après celles de Kénitra et de Fès .
- Quezzan d'après celles de Fès, de Larache et de Tanger .
- Souk Larbaa et Ksar el Kébir d'après celles de Fès, de Tanger et de Larache .

Un coup d'oeil sur la carte no.1, montre que l'estimation se fait entre deux stations quand elles sont très voisines, sur une même unité topographique et se caractérisant Par une même situation Par rapport à la mer et aux montagnes .

L'estimation se fait d'après deux stations et Plus quand ces dernières encadrent celle dont les données sont manquantes .

Vu la durée d'insolation relativement constante sur de grands espaces, ne serait ce que Pour notre région, il n'est Pas vraisemblable que ces estimations aient beaucoup d'influences sur les valeurs de l'ETP, calculées Par la méthode de Turc .

(1)La durée annuelle moyenne d'insolation dans notre région diminue en s'éloignant de la mer et en allant vers le sud ; elle est de 2987 h à Tanger, de 2903 à Casa-Blanca et de 2896 à Fès . (6.P:101) .

4-2-1-2-La méthode de Penman : Malgré les avantages de cette méthode, nous ne pouvons l'appliquer qu'à cinq stations sur tout notre réseau .Cela, bien entendu, parce que les huit stations restantes ne disposent pas de tous les paramètres que nécessite cette méthode .

Il n'est pas possible d'estimer, pour nos huit stations, les deux paramètres climatiques (l'humidité et le vent) car en le faisant, nous aurions trois éléments climatiques sur quatre qui seraient estimés(1). Et les valeurs de l'ETP, calculées sous ces conditions seraient certainement loin de la réalité(2) .

Finalement, il reste à signaler que nous avons estimé les durées d'insolation pour les stations de Casablanca, de Fès et de Larache .Pour les stations de Casablanca et de Fès, nous avons estimé les valeurs des années allant de 1976 à 1984, et pour Larache, celles des années allant de 1981 à 1984 .

(1) Nous avons déjà estimé les valeurs de l'insolation pour appliquer la méthode de Turc .

(2) Cela sans parler de la non précision qui peut accompagner l'estimation des mesures de la vitesse du vent et de l'humidité relative .

4-2-2-LA FORMULE RETENUE POUR LE CALCUL DE L'ETP .

La méthode de Penman est considérée par la majorité des chercheurs comme méthode standard, de référence, avec laquelle il est possible de comparer les résultats des méthodes simples pour tester leurs précisions .

Et il a été signalé que, vu les moyens dont nous disposons, nous allons, dans la mesure du possible, multiplier l'ETP. de Thorntwaite ou bien celle de Turc par un coefficient correctif régional pour pouvoir interpoler l'ETP. de Penman à toute notre région .

Pour ce faire, nous avons calculé l'ETP. selon les méthodes de Thorntwaite et de Turc pour toutes nos stations, et l'ETP. selon la méthode de Penman pour les stations disposant des données nécessaires (Casablanca, Fès, Ghédina, Kénitra et Larache) . Ensuite, nous avons procédé de la façon suivante :

-La méthode graphique :

Nous avons dressé, pour les stations disposant des relevés de l'ETP. mesurée, des graphiques sur lesquels nous avons reporté les valeurs mensuelles moyennes de cette dernière et des trois ETP. calculées (Fig.no:19)

Signalons que les hauteurs mensuelles de l'ETP. mesurée à notre disposition étaient mesurées dans le Bac de classe "A" .

Cette dernière méthode a plus qu'un seul intérêt: d'abord, elle permettra de connaître la méthode donnant des valeurs plus proches (plus loin) de l'ETP. mesurée . ensuite, elle soulignera l'évolution de l'ETP. au cours de l'année ...

En regardant les figures no:19, nous remarquons que :

Les valeurs de l'ETP. calculées par la méthode de Thorntwaite sont toujours inférieures à celles fournies par les méthodes de Turc, de Penman ou bien à celles de l'ETP. mesurée . Ceci signifie que la méthode de Thorntwaite sous

estime l'ETP. dans le Nord-Ouest marocain .

Cette sous estimation peut s'expliquer par le fait que la formule ne prend en compte que de la température elle néglige le rôle de la durée d'insolation et du vent dans le phénomène ETP. .D'ailleurs, nous voyons sur les graphiques que les grandes différences entre ETP. Thornthwaite et ETP. mesurée sont celles présentées pendant les mois d'été .Ceci, parce que pendant ces derniers mois l'insolation enregistre ses durées les plus longues de l'année et aussi parce que le vent d'Est chaud et sec envahit toute notre région .

Bref, la méthode de Thornthwaite n'est pas convenable pour l'estimation de l'ETP. dans notre région .Et nous ne pouvons interpoler l'ETP. de Penman qu'à partir des résultats de la méthode de Turc .

D'une façon générale, les valeurs de l'ETP. calculées par la méthode de Turc sont supérieures par rapport à celles calculées par la méthode de Penman pendant les mois d'hiver .Pendant les autres mois, durant lesquels la plante a le plus de besoin en eau, c'est la méthode de Penman qui fournit les valeurs les plus élevées .

Concernant la station de Larache (Fig.no:19-b), nous constatons que les valeurs de l'ETP. calculées par la méthode de Penman sont légèrement supérieures pendant les mois d'été par rapport à l'ETP. mesurée .Ce résultat est anormal ;l'ETP. de Penman peut dépasser celle mesurée dans le cas où cette dernière est effectuée sur gazon ras, soumis à un seul arrosage ou deux par jour (18.P:64) .Ce qui n'est pas notre cas ;notre ETP. est mesurée dans le Bac de calasse "A" .

Cette remarque signifie que les relevés de l'ETP. mesurée à Larache sont douteux .Pour cette raison, nous allons les laisser de côté .

Pour avoir les coefficients correctifs régionaux avec lesquels nous pourrions multiplier les ETP. de Turc pour interpoler l'ETP. de Penman à toute notre région, nous avons divisé cette dernière en deux sous-régions ,selon les stations disposant de l'ETP. de Penman .

Les sous-régions correspondent à l'intérieur et au

littoral. Le littoral est Présenté Par Kénitra et l'intérieur Par Fès .

Puis, Pour chaque sous région, nous avons calculé, en Prenant compte de la valeur du coefficient de corrélation entre les ETP. mensuelles de Penman et de Turc, le coefficient correctif .Ensuite, nous avons interpolé l'ETP. de Penman en multipliant celle de Turc Par le coefficient correctif régional obtenu Précédemment .Ainsi, nous avons pu obtenir l'ETP. de Penman Pour toutes nos stations .

Et Pour connaître l'ordre d'erreur commis en interpolant de cette façon, nous avons calculé, Pour toutes nos séries interpolées, l'intervalle de confiance à 95 % .

Ainsi, nous nous sommes aperçus que les intervalles de confiance des mois hivernaux sont relativement larges Par rapport à ceux d'été (1) .En hiver, ces intervalles varient entre + où - 8,74(Tanger) et, + où - 18 (Sk.Larbaa) et en été, ils varient entre + où - 4,2(Ksar el Kébir) et + où - 10,6(Sd.Sliman-2) a12

(1)Ce Premier résultat Pourrait s'expliquer Par le fait que les trois méthodes Prennent en compte l'effet de la température dans l'ETP. .Et Puisque, nous le verrons Plus loin, la température de l'air a un grand rôle dans le déclenchement du phénomène ETP. Pendant les mois d'été, la corrélation est relativement bonne entre les résultats des trois méthodes Pendant cette saison .Par contre, l'humidité et le vent n'interviennent que dans la formule de Penman .En d'autres termes, et contrairement à la méthode de Penman, les deux autres méthodes ne Prennent Pas compte de l'apport d'énergie advective dans l'ETP. Ceci explique la corrélation relativement faible -l'intervalle de confiance relativement large- Pendant les mois d'hiver entre l'ETP. de Penman et les deux autres .

Et dans le but de montrer le poids que représentent ces intervalles de confiance dans l'ETP. total d'un mois donné, nous avons converti les valeurs absolues en valeurs relatives .Ainsi, nous avons trouvé que ces intervalles représentent, pendant les mois de janvier par exemple, + ou -33,4 % de l'ETP. total à Meknès, + ou -30 % à Sd.Kacem, + ou -32,4 % à Ksar el Kébir, + ou -36 % à Sk.Larbaa,+ ou -34 % à Tlata de Raissana, + ou -30 % à Sd.Sliman-2 et + ou -22 % à Tanger .

La marge d'erreur que nous pourrions commettre en interpolant l'ETP. de Penman sur tout notre réseau de stations est, donc, grande .Pour cette raison, nous avons renoncé à cette méthode .Et pour étudier l'ETP. dans notre région, nous avons préféré la méthode de Penman malgré le fait que nous ne pouvons l'appliquer qu'à cinq stations sur treize .Ce choix a, bien entendu, ses raisons :

-Comme signalé précédemment, la formule de Penman est la plus précise des formules permettant d'évaluer l'ETP. d'une région donnée .

-Les stations disposant des paramètres nécessaires pour l'emploi de la formule de Penman sont gérées par un personnel qualifié de la Météorologie Nationale .En plus, calculer l'ETP. selon des mesures prises directement sur le terrain (contrairement à estimées) donne plus de garantie à nos résultats .

-Les séries de mesures des éléments climatiques, relatives aux stations retenues, contiennent un minimum de valeurs estimées .

-Les stations d'observation retenues sont bien réparties sur le terrain (elles sont susceptibles de donner une idée complète sur la façon selon laquelle l'ETP. se présente dans toute notre région (carte no:1) .

Finalement, les résultats des calculs de l'ETP. selon la méthode de Penman sont figurés sur les tableaux no:24 .

4-2-3-LE PROBLEME DE L'EVALUATION DE LA RESERVE UTILE .

L'humidité d'un sol donné peut se déterminer soit dans le laboratoire soit sur le terrain .

-Les méthodes du laboratoire : Parmi ces méthodes, il y a celles qui consistent à séparer l'eau de la terre sèche, soit à l'étuve (105 degrés pendant 24 heures) soit par centrifugation avec une accélération égale à mille fois celle de la pesanteur .

-Les méthodes de terrain : Parmi ces méthodes, il y a les enregistreurs qui mesurent directement le taux d'humidité (résistance électrique hygroscoPIque, en Porcelaine ou en nylon) fichés dans la terre . Il y a aussi, comme méthodes, celle du carottage et celle imaginée par Fontaine.P(64) permettant le calcul de la réserve utile en développant l'expression suivante :

$$R.U = Pr - (ETP + D) \quad \text{où}$$

Pr = les Précipitations des mois de l'hiver hydrologique .

ETP = l'évaPotranspiration Potentielle .

D = l'écoulement .

Concernant le Présent travail, les méthodes décrites ci-dessus permettant d'obtenir avec Précision la valeur de la réserve utile, ne sont pas utilisées . Cela, bien sûr, pour des raisons qui sont hors de notre volonté . Par exemple, le fait qu'on soit loin de notre terrain ne nous permet pas d'appliquer les méthodes basées sur l'analyse des échantillons de la terre (étuve , carottage , centrifugation ...) .

Nous ne Pouvons Pas appliquer la méthode de Fontaine.P. Parce que les amonts des deux Grands Oueds (Sebou et Loukkos) qui traversent notre région se trouvent éloignés vers l'Est (chaines montagneuses du Moyen-Atlas et du Rif) (1) .Et si nous connaissons les débits moyens des deux Oueds à leurs exutoires, nous ne Pouvons Pas, vu le réseau de stations à notre disposition, calculer les Précipitations mensuelles moyennes Pour l'ensemble des deux bassins versants Pris un Par un .

Devant cette situation, et Pour déterminer la capacité de rétention des sols en eau, nous nous sommes tournés vers les travaux qui ont été réalisés sur le Maroc en matière de bilan hydrique et vers les cartes Pédologiques de notre région .

Dans son travail sur l'ETP. et le bilan hydrique, Lakmaharri.A.(81) a fixé la valeur de 100 mm comme réserve utile à ses six stations d'observation (2) .

Mais fixer des réserves utiles de mêmes valeurs à des stations qui n'ont en commun ni conditions climatiques, ni conditions Pédologiques et qui sont séparées Par des centaines de Kilomètres ne semble Pas bien justifié .

Une étude sur l'ETP. au Maroc a été faite Par Calvet.C.(81) .Ce dernier Pense que "...100 mm retenus comme réserve du sol est un peu faible dans les stations les Plus arrosées .Une valeur de 150 mm serait Peut-être Plus convenable ..." (18.P:67) .

(1)Notre terrain d'étude ne correspond Pas à des bassins versants bien déterminés .

(2)Les six stations d'observation sur lesquelles fut basée son étude sont : Tanger, Casablanca, Agadir, Oujda, Méknès et Marrackech .

Une troisième étude a été réalisée par Papy.F. et al. (81). Dans cette étude, les auteurs ont trouvé que la capacité de rétention en eau des sols varie entre 150 et 25 mm selon les profondeurs des profils pédologiques analysés (tableau no:25). Et en ramenant tous ces profils à 100 cm de profondeur, nous nous apercevons que la capacité de rétention devient comprise, moyennement, entre 100 et 150 mm.

Compte tenu de ces deux dernières études, des cartes pédologiques (cartes no:7 et 8) et de l'enracinement faible à moyen de la majorité des espèces végétales de la région (1), nous proposons, conventionnellement, une réserve utile de 100 mm pour les stations d'observation se situant sur des domaines sableux et 150 mm pour celles se situant sur des terres argileuses (2).

Ainsi, la réserve utile est de 150 mm à Fès, à Casablanca et à Kénitra et de 100 mm à Larache et à Ghédira.

(1) Sans considérer la forêt de MAMORA qui occupe une simple superficie par rapport à toute notre région.

(2) La quantité constante retenue par le sol en période de surabondance de pluie dépend, naturellement, de la nature du terrain. Elle est de 10 % de la terre sèche dans le sable, de 20 % de la terre sèche dans le limon et de 40 à 100 % dans l'argile (152).

4-3-LA DESCRIPTION SPATIALE DE L'ETP .

Avant l'étude de la corrélation entre l'ETP, et les éléments du climat intervenant dans la formule de Penman, et avant l'étude de la variabilité des éléments du bilan hydrique, il paraît raisonnable de présenter, sommairement, la répartition géographique et les facteurs influençant l'ETP, dans notre région .

Les facteurs influençant l'ETP, sont géographiques et climatiques .Les facteurs géographiques correspondent à la proximité de la mer, des montagnes....et les facteurs climatiques peuvent se résumer sous le titre de la circulation atmosphérique générale .

Pour la présentation de ces facteurs, nous avons pris la carte no:6 qui résume les situations moyennes à la surface pendant l'été et l'hiver .

En regardant la carte no:6-A, nous constatons que l'anticyclone des Açores couvre l'ensemble du Maghreb . Cette situation laisse notre région ouverte aux influences des masses d'air du secteur Nord, qui contournent l'anticyclone sur son flanc Est .Ces masses d'air arrivent fraîches et humides sur notre région .Ainsi, toutes nos stations enregistrent une diminution de la température et une élévation de l'humidité relative .

La rencontre, fréquente pendant cette saison, entre des masses d'air d'origine polaire avec celles d'origine tropicale sur l'Afrique du Nord a pour conséquence la formation des nuages .Ces derniers empêchent l'apparition du soleil pendant des heures, voire pendant des jours .

De ce fait, la durée moyenne d'insolation diminue pendant cette saison .

En regardant la carte n°6-B, nous constatons que l'anticyclone des Açores se rétrécit et se retire de dessus l'Afrique du Nord. En même temps, l'installation d'une dépression thermique est constatée sur le centre du Sahara.

Ajoutons à ces remarques la présence des hautes pressions subtropicales en altitude et leurs influences sur tout le bassin méditerranéen.

Cette situation barométrique laisse le vent frais et humide lécher seulement le littoral marocain (Gharbi). Et la dépression du Sahara oblige les vents à tourner dans le sens contraire des aiguilles d'une montre et à survoler le Maroc à partir de ses limites Est.

Ceci signifie que ces vents, après avoir traversé le Sahara, arrivent, sur notre région, très chauds et très secs (Chérqui).

Signalons que les régions se situant au pied Ouest des montagnes (le Moyen-Atlas et le Rif) souffrent encore plus des effets desséchants de ces vents d'Est (effets du Föhn).

Ces vents d'Est ont donc pour conséquences l'élévation de la température et l'abaissement de l'humidité relative.

Le ciel très souvent clair, par effet des anticyclones d'altitude, laisse notre région bénéficier d'une durée d'insolation bien considérable pendant cette saison.

Finalement, les grands centres d'actions se déplacent suivant le mouvement apparent du soleil. Et ce déplacement, saisonnier, laisse notre région recevoir des masses d'air d'origines différentes, et donc de température et d'humidité différentes.

Ces masses d'air de caractères différents ont un rôle important dans le déclenchement du Phénomène ETP, et sa répartition géographique .

Et pour ne parler que de notre région, nous avons dressé pour chacune des stations retenues des diagrammes sur lesquels se sont présentées des valeurs mensuelles moyennes de l'ETP. (figure no:20) .

Un simple coup d'oeil sur ces graphiques permet de dégager les remarques suivantes :

4-3-1-Partout, les lames d'eau évaporées pendant les mois d'hiver, surtout pendant décembre et janvier, sont faibles .Et pendant les mois d'été, l'ETP, atteint ses valeurs maximales, surtout pendant le mois de juillet .Ce comportement de l'ETP, est typiquement méditerranéen .

Le fait que l'ETP, soit très élevée pendant l'été peut s'expliquer par des raisons astronomiques et géographiques .Et parmi ces raisons, il y a :

-La température qui devient excessivement élevée depuis la fin du printemps jusqu'au début de l'automne .

-La durée du jour qui atteint son maximum pendant le mois de juillet .En d'autres termes, la radiation globale a, relativement par rapport aux autres saisons, plus de temps pour évaporer des quantités d'eau considérables .

-Le vent saharien, chaud et sec, qui envahit tout le Maroc pendant cette saison .

-Après une longue période sans pluie, ou à quantité de pluie faible, l'air devient sec, surtout sur des régions éloignées de la mer .Cette sécheresse de l'air augmente la demande de l'atmosphère en eau, et donc en ETP.

Finalement, la coïncidence d'une température élevée pendant une longue durée du jour avec un vent chaud et

sec a pour effet d'élever l'ETP. à son maximum .

4-3-2-L'intérieur (Présenté par la station de Fès) marque les ETP. les plus élevées pendant les mois d'été et le début d'automne .Pendant les autres mois de l'année, c'est le littoral qui marque les ETP. les plus élevées .

Cette dernière remarque pourrait s'expliquer par le fait que le littoral reçoit, en hiver, une quantité d'énergie venue de l'Océan Atlantique .Et cette énergie contribue, évidemment, à l'élévation de l'ETP. des zones côtières .Cela, sans oublier qu'en hiver, le littoral est plus venteux, et donc susceptible d'évaporer plus d'eau que l'intérieur .Par contre, en été, l'Océan Atlantique, par ses effets rafraichissants, contribue à baisser la valeur de l'ETP du littoral; l'ETP est donc inférieure à celle des stations à l'intérieur des terres .

4-3-3-La grande différence en ETP. entre l'intérieur et le littoral s'observe pendant l'été .Ainsi, en prenant à titre d'exemple le mois de juillet, nous trouvons que, respectivement, les stations de Ghédira, de Casablanca, de Larache, de Kénitra et de Fès présentent les valeurs d'ETP. suivantes :166, 169, 176, 188, et 213 mm.Cette différence est due, paraît-il, à des raisons surtout géographiques :

-Vu sa situation sur une dépression (1), et vu le fait qu'elle soit protégée des vents d'Est chauds et secs par deux forêts de Pin et d'Eucalyptus, la station de Ghédira enregistre l'ETP. la plus faible .

(1)La dépression se situe entre l'ondulation de la falaise maritime et la montée du Plateau de R'mel de Larache .Cette situation d'abri protège la station du vent d'Est chaud et sec

-Malgré sa situation au Sud des stations de Larache et de Kénitra, Casablanca fournit une ETP. inférieure à celles de ces deux précédentes. Cette remarque pourrait s'expliquer par le brouillard matinal, relativement plus fréquent sur la région de Casablanca, qui ralentit l'ETP. jusqu'aux alentours de midi. Ce brouillard ne va pas sans rappeler l'effet de montée des eaux froides (up-welling) (55)

-La région de Larache connaît un brouillard matinal moins dense et moins fréquent par rapport à Casablanca. De ce fait, l'ETP. de la première station est légèrement supérieure à celle de la seconde.

-La station de Kénitra, unique port fluvial marocain, se trouve à une distance d'environ 10 Km de la mer. Donc, les nuances de la continentalité commencent à se faire sentir et l'ETP. dépasse celle de Larache et de Casablanca (1).

-Fès, station purement continentale, se caractérise par une ETP supérieure à celles de toutes les autres stations. Ceci parce que que l'air sur l'arrière-pays est plus chaud, plus sec par rapport à celui du littoral.

Et, rappelons le, Fès se situe au pied nord-ouest du Moyen Atlas. Donc, les vents d'est et du sud-est se déchargent totalement de leur humidité en grimpant la chaîne du Moyen Atlas et avant d'arriver à la plaine du Saïs (effet du foehn)

(1) Comme Casablanca se situe à une distance d'environ 120 Km à vol d'oiseau au Sud de Kénitra, et que la température augmente en allant vers le Sud et vers l'Est, cette dernière station devrait fournir une ETP. inférieure à celle de Casa-Blanca. Mais en sachant que Kénitra se situe relativement loin de la mer par rapport à Casa-Blanca, nous comprenons la remarque citée plus haut.

-En comparant, à l'échelle annuelle, l'ETP, dans nos différentes sous-régions, nous nous apercevons que, à une exception près, la situation reste semblable au mois de juillet (1). L'exception est présentée par la permutation entre les stations de Casablanca et de Larache. Et il paraît que cette permutation est due au fait que Casablanca récupère ce qu'elle a perdu, pendant l'été en matière d'ETP., durant les saisons intermédiaires relativement sèches et moins brumeuses par rapport à Larache.

Finalement, nous pouvons dire que l'ETP, varie en fonction de la variation de la température, de l'humidité de l'air, de l'insolation et du vent. Justement, nous proposons, dans ce qui suit, d'étudier la corrélation entre l'ETP, et ces quatre derniers éléments du climat pour déterminer celui dont le rôle est plus important dans la variation de l'ETP. .

(1) Les ETP, annuelles moyennes sont de 1134 mm à Ghédira, 1204 mm à Larache, 1224 mm à Casablanca, 1298 mm à Kénitra et 1307 mm à Fès .

4-4-LA RELATION ENTRE L'ETP. ET LES DIFFERENTS ELEMENTS DU CLIMAT .

On a vu que l'ETP. est fortement liée à des conditions géographiques (distance à la mer ...) et astronomiques (durée d'insolation ...). Et pour connaître l'élément dont le rôle est plus important dans l'ETP., nous avons cherché la corrélation entre cette dernière et les quatre éléments du climat (tableau no:25). Ainsi, chaque fois que l'on a un coefficient, calculé entre l'ETP. et un élément du climat, significatif à un seuil donné, on peut dire que cet élément a un apport considérable dans l'ETP. Et lorsque les quatre coefficients de corrélation d'un mois donné sont faibles et presque égaux, on en conclut qu'aucun des éléments ne joue de rôle déterminant dans l'ETP. de la station considérée. Pour cette méthode, nous avons toujours considéré le seuil de signification à 95 % .

En fixant les valeurs des coefficients de corrélation linéaire présentés sur ce dernier tableau, on comprend que les stations peuvent se classer grossièrement en deux groupes. La station de Ghédira, malgré sa figuration sur le tableau, et vu sa durée d'observation, ne sera pas prise en considération pour le commentaire. Elle ne figure sur le tableau que pour la confirmation de certains résultats .

> -Le premier groupe peut contenir les stations du littoral (Casablanca, Kénitra et Larache).

Pendant l'hiver, l'ETP. de ce dernier groupe est corrélée avec le vent. A Casablanca, elle est plutôt liée avec la température .

A Larache et Kénitra, la corrélation avec le vent est significative car ce dernier enregistre des vitesses élevées pendant l'hiver. Ce vent d'ouest et du sud-ouest est

souvent frais et très humide .De ce fait, l'ETP. atteint ses niveaux les plus bas de l'année .La température et la durée du jour ne jouent pas de grand rôle car le ciel est souvent nuageux et le jour est court .

La corrélation entre l'ETP. et la température à Casa-Blanca pourrait s'expliquer par la situation de cette station vers le sud .Cette situation laisse la station bénéficier d'une fréquence relativement élevée en journées ensoleillées .Mais comme la température n'est pas trop élevée pendant cette saison, et que les jours sont courts, l'ETP. reste faible .

Pendant les trois mois d'été, l'ETP. est bien corrélée soit avec la température, soit avec la durée d'insolation, soit avec les deux .Et il arrive que la corrélation soit significative aussi avec le vent (Kénitra et Larache pendant le mois de juin) .Cette même remarque s'applique à la station de Ghédira également .

La corrélation significative entre l'ETP. et les trois éléments du climat est facile à expliquer : suite aux débordements des anticyclones tropicaux sur la zone méditerranéenne, le ciel devient clair et le temps devient chaud et sec .Donc, la radiation nette (Q_n) augmente (1), la température devient élevée et la durée d'insolation atteint son maximum .

Finalement, une température élevée pendant de longues journées d'été permet à l'ETP. d'atteindre ses valeurs les plus élevées de l'année .

(1) Pour évaporer 1 mm d'eau, il faut une radiation nette de 60 cal/cm² .

La corrélation significative au seuil de 95 % entre l'ETP. et le vent pendant le mois de juin à Kénitra et à Larache est due au vent d'Est. Autrement dit, le vent chaud et sec (Chérgui)(1) qui traverse notre région en été rend l'air très sec et permet à l'ETP. d'atteindre ses maxima. Cette corrélation entre l'ETP. et le vent est encore mieux représentée par la station de Ghédira pendant les mois de juin et d'août.

Pendant les saisons intermédiaires, aucun élément climatique ne joue de rôle déterminant dans l'ETP ; les coefficients de corrélation sont faibles et presque égaux. Cette remarque pourrait s'expliquer par le fait que la durée d'insolation et la température sont, pendant ces saisons, modérées entre leurs maxima d'été et minima d'hiver.

-Le deuxième groupe comprend la station de l'intérieur : FES. Pour cette dernière, et pendant les mois d'automne et d'hiver, la corrélation est significative entre l'ETP. d'un côté, le vent et l'humidité relative d'un autre côté.

Le vent est bien corrélé avec l'ETP. car suite à la descente des vents froids des sommets du Moyen Atlas et du Rif, la température atteint ses valeurs les plus faibles de l'année. Et c'est cette chute de la température qui explique la faiblesse de l'ETP pendant cette saison.

(1)Chérgui signifie le vent qui vient de l'Est. Ce vent est caractérisé par sa température et sa sécheresse élevées. Les effets de ce vent, comparables à ceux du Sirrocco, de l'Harmattan, des vents étésiens, ... sont bien connus par les agriculteurs mahrébins.

La corrélation entre l'ETP. et l'humidité relative est significative non seulement pendant l'hiver, mais aussi durant toute l'année. Et pour ne parler que de l'hiver, on peut dire que c'est la température qui est derrière cette corrélation. Suite aux faibles températures d'hiver, l'ETP. atteint ses valeurs les plus basses et l'humidité relative ses valeurs les plus élevées. D'ailleurs, pour cette dernière, on peut ajouter le rôle des précipitations abondantes qui alimentent l'atmosphère en humidité.

Pendant les mois d'été, l'ETP. est bien corrélée avec le vent, surtout pendant le mois de Juin. Autrement dit, l'ETP. s'explique, en grande partie, par les effets du vent et de l'humidité relative : le vent chaud et sec qui envahit la station du sud et de l'est baisse l'humidité relative à son minimum. De ce fait, le pouvoir évaporant de l'air devient grand. Et c'est ainsi que l'ETP. atteint ses valeurs les plus élevées.

Les plus faibles coefficients de corrélation sont ceux calculés, pendant les mois du printemps, entre l'ETP. et le vent. Cette remarque signifie qu'il n'y a pas de grand rapport, ni direct ni commun, pendant cette saison entre les deux éléments climatiques.

Cette faible corrélation peut s'expliquer par le fait que le vent, contrairement aux autres éléments climatiques, enregistre ses grandes variations - vitesses et directions - pendant cette saison. Et, ce qui d'ailleurs est connu, la corrélation entre deux éléments climatiques, n'évoluant ni dans le même sens ni dans le sens opposé est forcément faible.

Finalement, toutes les remarques qui viennent d'être signalées peuvent se résumer en trois points :

-A l'échelle de toute la région, il y a deux éléments

climatiques qui déterminent l'ETP. Pendant l'hiver. Ces deux éléments sont le vent et l'humidité relative.

-Pendant les mois d'été, l'ETP. du littoral est surtout influencée par la température de l'air et par la durée d'insolation. Pour l'arrière-Pays, l'ETP. est fortement liée au vent d'est, chaud et sec. Rappelons que les effets de ce vent se font ressentir sur le littoral aussi. Mais, ils sont faibles par rapport à l'intérieur. Cette faiblesse est due à deux raisons : d'abord parce que l'Océan rafraîchit le climat des zones côtières et ensuite parce que la côte se trouve plus éloignée vers l'ouest. Cette dernière raison signifie que le vent saharien traverse, avant d'arriver sur le littoral atlantique, des forêts, des rivières, ...et donc, son humidité relative augmente. Pour cette raison, les effets de ce vent sont nettement plus faibles sur le littoral que sur l'arrière-Pays.

-Pendant les saisons intermédiaires, l'ETP. n'est liée à aucun élément climatique précis. Les coefficients de corrélation sont souvent faibles et presque égaux.

Ces trois derniers points présentent une preuve supplémentaire sur la précision et l'adéquation de la méthode de PENMAN. Celles de Thornthwaite et de Turc négligent ou accordent moins d'importance au vent et à l'humidité relative dans le déclenchement du phénomène ETP., alors qu'on a vu que ces deux derniers éléments peuvent avoir de grandes influences sur l'ETP. (FES pendant les mois d'été par exemple).

4-5-L'ETUDE DE LA VARIABILITE .

Sous ce titre, nous proposons d'étudier la variabilité de l'ETP, et du bilan climatique P-ETP. Après, et pour plus de détails, nous allons étudier la variabilité des grands éléments du bilan hydrique pendant quelques années représentatives. Cette étude permettra, d'abord, de comparer la variabilité des précipitations à celle de l'ETP, et ensuite de connaître l'ordre de grandeur de la variabilité des grands éléments du bilan hydrique dans notre région.

Finalement, nous pensons terminer cette partie par l'étude des régimes probables de la déficience d'évaporation :ETP.-ETR. Cette dernière étude permettra de "prévoir" les déficits en eau et donc les quantités d'eau qu'il faudra ajouter à la plante pour une bonne production végétale, mois par mois, dans notre région.

Les méthodes employées pour l'étude de la variabilité sont au nombre de deux. La première méthode consiste à remplacer les données brutes par leurs déviations à la moyenne, exprimées en écart-type (5) et à présenter les résultats ainsi obtenus sur un graphique. La seconde méthode est basée sur l'emploi du coefficient de variation.

4-5-1- LA VARIABILITE DE L'ETP .

IL Parait raisonnable de donner, d'abord, une idée sur la variabilité annuelle et ensuite mensuelle .

4-5-1-1- LA VARIABILITE INTER-ANNUELLE DE L'ETP .

L'application de la Première méthode, décrite ci-dessus, nous a permis de dresser la figure no:21-A .Et à propos de cette dernière, nous signalons les remarques suivantes :

-D'une façon générale, la variabilité inter-annuelle de l'ETP dans notre région est grande : la déviation de l'ETP par rapport à sa moyenne, exprimée en écart-type, varie entre +260 % (Fès 1983) et -260 % (Casablanca 1974) .Et, comme nous verrons plus loin, cette variabilité est supérieure à celle des précipitations annuelles .

-Mise à part la station de Fès, et à certaines réserves, la déviation à la moyenne des autres stations évolue dans un même sens .Ceci dit, nous soulignons l'absence d'un parallélisme complet entre les courbes représentatives de ces dernières .

-Certaines années, ce sont les stations du littoral et d'autres années, c'est Fès qui présente la grande variabilité .Ainsi, en regardant le graphique, nous trouvons que pendant quatre années, la déviation de l'ETP, était supérieure ou égale à + ou - 200 % : à Larache en 1964, à Kénitra en 1981, à Fès en 1983 et à Casablanca en 1974 .Et en dénombrant les années dont les déviations par rapport aux moyennes étaient supérieures ou égales à + ou - 150 %, nous trouvons que le résultat est le même que précédemment .

Devant le Problème de ne Pas connaître la sous région Présentant la Grande variabilité de l'ETP., nous nous sommes servis de la méthode des coefficients de variation .Ainsi, nous avons trouvé que les stations de Fès, Ghédira, Kénitra, Larache et Casablanca Présentent, respectivement, les coefficients de variation suivants : 194, 75, 53, 50 et 43 % (1) .Nous concluons que c'est l'ETP. de la station de l'intérieur qui varie le Plus .

(1) Tout en considérant les Précipitations, les mêmes stations Présentent respectivement les coefficients de variations annuels suivants : 27, 29, 26, 33 et 30 % .Ces dernières valeurs signifient que la variabilité de l'ETP. est grande Par rapport à celle des Précipitations .

4-5-1-2-LA VARIATION DE L'ETP. MENSUELLE .

La Première méthode, Présentée ci-dessus, est appliquée à seulement quatre mois de l'année .Nous avons Procédé de cette façon, car d'abord, chaque mois représente une saison, et ensuite, Parce que nous voulons tester la fiabilité de cette méthode .Le résultat de cette dernière sera finalement comparé aux coefficients de variation .

Les résultats de cette méthode sont figurés sur les graphiques no:22 .Un coup d'oeil sur ces derniers permet de dégager les remarques suivantes :

-La variabilité de l'ETP. mensuelle est supérieure Par rapport à la variabilité de l'ETP. annuelle .Cette remarque s'observe en comparant les figures no:21-A et 22 .En regardant ces dernières, nous trouvons que la déviation de l'ETP. annuelle Par rapport à sa moyenne n'a jamais atteint la barre de 300 % alors que celle de l'ETP. mensuelle a dépassé ce seuil Pendant trois ans :janvier 1982 à Fès, avril 1964 à Larache et juillet 1984 à Fès .

-Aucune des quatre saisons ne présente un net Parallélisme entre les courbes représentatives de l'ETP. dans les différentes stations .L'absence de ce Parallélisme Peut s'expliquer Par l'inexistence d'un rapport de causalité et de causes communes agissant simultanément sur toutes les stations .Cette observation laisse Penser que l'ETP. est fortement liée aux conditions Géographiques :la distance à la mer, la situation latitudinale, l'altitude,...

-Différemment des stations du littoral, celle de Fès présente, entre 1980 et 1984, des ETP. annuelles et mensuelles supérieures à leurs moyennes .En 1980, l'ETP. était exceptionnellement élevée ;elle était de 1783 mm à coté d'une moyenne de 1309 mm .

-Pendant certaines années, la Grande variabilité est Présentée Par la station de l'intérieur Fès (janvier 1982, avril 1970, octobre 1978, ...) et Pendant d'autres années, Par les stations du littoral (janvier 1977 à Kénitra, avril 1964 à Larache, juillet 1964 à Casablanca, octobre 1977 à Ghédira, ...).Vu cette situation, nous ne Pouvons Pas conclure, en se

basant sur cette méthode, que ce sont les stations du littoral, ou bien celle de l'intérieur qui présentent la grande variabilité .

Vu le fait que cette première méthode ne nous a pas permis de connaître la sous-région se caractérisant par la grande variabilité de l'ETP. , nous nous sommes servis de la méthode des coefficients de variation .Ces derniers, calculés mois par mois et station par station, sont traduits sur la figure n°23-A .Et à propos de cette dernière, nous signalons les remarques suivantes :

-Par rapport aux autres stations, Fès présente une grande variabilité de l'ETP. mensuelle .Ajoutons à ceci, que la variabilité dans cette dernière station, atteint ses valeurs les plus élevées pendant les mois d'automne et le début d'hiver et les valeurs les plus faibles pendant les mois d'été .

-En comparaison avec les autres stations, Casa-Blanca offre en général des coefficients de variation faibles .

-Le Plateau de Larache, les collines du Pré-Rif et le Gharb présentent une variabilité moyenne entre celles des plaines du Saïs et de Chaouia (Casa-Blanca) .

-La variabilité de l'ETP. est inférieure à celle des précipitations ; les coefficients de variation calculés selon les séries des ETP. mensuelles sont toujours inférieurs à ceux fournis par les séries des précipitations mensuelles .

Pour finir, nous pouvons dire que, soit à l'échelle annuelle, soit à l'échelle mensuelle, Fès présente une variabilité supérieure à celle des autres stations .Cela signifie que la variabilité de l'ETP. dans l'arrière-pays est grande par rapport au littoral .

Ceci dit, la variabilité de l'ETP. mensuelle est toujours inférieure à celle des précipitations .

4-5-2-LA VARIABILITE DU BILAN CLIMATIQUE P-ETP .

L'étude de la variabilité du bilan climatique P-ETP. est intéressante dans la mesure où elle permettra d'avoir une idée sur le déficit pluviométrique dans notre région et sa fluctuation d'une année sur l'autre . Les méthodes employées pour l'étude de cette variabilité sont les mêmes que celles utilisées précédemment avec l'ETP .

4-5-2-1-LA VARIABILITE INTER-ANNUELLE DU BILAN CLIMATIQUE P-ETP .

L'application de la première méthode, la déviation des variables par rapport à leur moyenne exprimée en écart-type, a permis de tracer les figures n:21-B desquelles on peut tirer les renseignements suivants :

-En comparant entre les graphiques A et B de la figure no:21, on trouve que la variabilité présentée par les deux graphiques n'est pas très différente (1) et que l'évolution des courbes entre 1980 et 1984 est inverse ; les écarts à la moyenne qui sont négatifs pour le graphique B deviennent positifs pour le graphique A .

-Sur le graphique B, nous voyons clairement les années à pluviosité excédentaire et celles à pluviosité déficitaire . Comme années à pluviosité excédentaire, nous pouvons citer l'exemple de 1963 et de 1969 dont les précipitations étaient, partout dans notre région, supérieures à leurs moyennes (127) . Et comme années déficitaires, il y a l'exemple de 1966 et celui de la période allant de 1979 à 1984 . Les effets de cette dernière période de sécheresse ont profondément touché

(1) Pour les deux graphiques, aucune courbe ne dépasse l'écart à la moyenne de 300 % .

l'élevage classique marocain (1) .Pendant cette même période, 1979 à 1984, on voit, sur le graphique A, que l'ETP, a marqué des valeurs bien élevées .Cette remarque pourrait s'expliquer par les conditions favorables à l'ETP :ciel clair, faible humidité relative, ...

-Qu'elles soient positives ou négatives, les fluctuations des bilans climatiques autour de leurs moyennes sont grandes :en 1983, le déficit pluviométrique annuel était inférieur à sa moyenne de 260 % à Fès, de 167 % en 1966 à Casablanca, ...et il était supérieur à sa moyenne de 260 % à Larache en 1963, de 270 % à Kénitra en 1969, ...Cela signifie que des années très sèches, comme d'autres très humides, peuvent s'observer dans notre région .

-Comme signalée précédemment, la grande variabilité du bilan climatique peut s'observer sur l'intérieur de même que sur le littoral .Cela signifie que la première méthode ne permet pas de comparer la variabilité entre plusieurs sous-régions .Pour cette raison, nous allons nous servir des coefficients de variation pour savoir si c'est le littoral ou bien l'intérieur qui présente la grande variabilité du bilan climatique .

Un calcul basé sur les séries des bilans climatiques des cinq stations, a permis d'obtenir les coefficients de variation suivants :281 % à Fès, 240 % à Larache, 179 à Kénitra, 172 % à Ghédira et 133 % à Casa-Blanca .Ces derniers coefficients signifient que, partout, la variabilité du bilan climatique est grande, qu'elle est toujours supérieure à celle des précipitations et des ETP, et que l'arrière-pays (Fès) se caractérise par une variabilité supérieure à celle des autres sous-régions .

(1)Face à cette sécheresse, et pour protéger la richesse animale, le gouvernement marocain a pris des mesures parmi lesquelles il y a eu la suppression momentanée de la fête du Mouton .

4-5-2-2-LA VARIABILITE MENSUELLE DU BILAN CLIMATIQUE .

Les figures no:24 sont dressées en se basant sur les résultats fournis Par l'application de la Première méthode .Un coup d'oeil sur ces figures Permet de souligner les remarques suivantes :

-La variabilité du bilan climatique est grande Pendant les quatre mois représentatifs des quatre saisons .Au moins une année sur toute la période présente une déviation à la moyenne, positive ou négative, supérieure ou égale à 250 % .

-Il Parait que la variabilité du bilan climatique Pendant les saisons intermédiaires est faible Par rapport à celle durant les saisons d'été et d'hiver .Cette remarque est prouvée Par le fait que Pendant ces deux dernières saisons, au moins quatre années dépassent un écart à la moyenne de 200 % , et une seule année dépasse l'écart de 300 % .Pour les saisons intermédiaires, l'automne n'a Pas touché le niveau de 300 % et le Printemps a dépassé Pendant une seule année la barre de 250 % d'écart à sa moyenne .

-Contrairement à l'été, les déviations Par rapport à la moyenne Pendant les autres saisons sont souvent comprises entre -100 et 300 % .Pendant les mois de juillet, les déviations sont plutôt comprises entre -300 et 100 % .Cela signifie que, contrairement à l'été, les déviations supérieures à la moyenne Pendant les autres saisons sont relativement nombreuses Par rapport à celles inférieures à cette même moyenne .Cette remarque mérite d'être expliquée : Prenons les mois de juillet comme exemple .Nous avons vu que Pendant ces mois, la variabilité de l'ETP, est faible (figure 23-A) alors que la variabilité des précipitations est élevée (figure no:10) .Ceci signifie que, l'été normalement sec dans notre région, peut exceptionnellement recevoir des hauteurs de pluie relativement élevées .Et ces dernières réduisent d'un côté, le déficit pluviométrique et élèvent, d'un autre côté, la moyenne du bilan climatique P-ETP.Et, ce qui d'ailleurs est normal, quand on applique la méthode de la déviation des données à leur moyenne exprimées en écart-type, on trouve plus

de données inférieures à leur moyenne que celles supérieures à cette dernière .

-Les figures no:24 ne Permettent Pas de dégager une régionalisation de la variabilité du bilan climatique (Pour un même mois, (Janvier Par exemple) nous assistons à une année où la Grande variabilité est Présentée Par la station de l'interieur (Fès 1970) et à d'autres années où la Grande variabilité est Présentée Par une des stations du littoral (Casablanca 1963) .Donc, la méthode n'est Pas convenable Pour la régionalisation de la variabilité .Et Pour surmonter ce dernier obstacle, nous nous sommes servis des coefficients de variation Présentés sur la figure no:23-B.

Concernant cette dernière figure, nous remarquons que

-Généralement, les coefficients de variation sont faibles Pendant l'été et Grands à très Grands Pendant le reste de l'année .Mis à Part les mois d'été, ces coefficients de variation sont de loin supérieurs à ceux des Précipitations et de l'ETP .

-Toutes les courbes ont deux maxima et deux minima .Les maxima Principaux correspondent soit à la fin d'hiver soit au début du Printemps et les maxima secondaires correspondent à la fin d'automne .Les faibles variabilités s'observent au milieu de l'été et au milieu de l'hiver .

-Le mois marquant la grande variabilité à Fès et à Larache (mars) est décalé par rapport à celui dans les autres stations (février). Et le mois représentant le maximum secondaire de variabilité à Fès est décalé par rapport à celui de Larache .

-Mis à part les mois de janvier, de février et d'octobre, Fès représente des coefficients de variations supérieurs à ceux des autres stations .Donc, comme pour l'ETP, la station de Fès se caractérise par une variabilité supérieure à celle des autres stations .

-La variabilité relativement élevée, caractérisant le Saïs, doit être mise en liaison avec la trajectoire préférentielle des perturbations d'ouest, qui épouse le dessin de l'arc Rifain (30,P:22) .

Finalement, nous pouvons dire que notre région se caractérise par une grande variabilité du bilan climatique P-ETP. Et cette variabilité, dont les conséquences sont aussi graves que la sécheresse elle même, peut s'expliquer, en partie, par les précipitations dont la variabilité est elle aussi très grande par rapport à celle de l'ETP. En d'autres termes, la situation du Maroc sur les marges de la circulation tempérée qui affecte plus ou moins notre région suivant les années et les saisons laisse les précipitations de cette dernière se caractériser par de grandes variabilités inter-saisonnières et annuelles d'où la grande variabilité inter-saisonnière et annuelle du bilan climatique P-ETP.

Pour conclure ces deux derniers chapitres, relatifs à l'étude de la variabilité de l'ETP, et du bilan climatique, nous pouvons dire que :

Vu le nombre restreint de stations d'observation à notre disposition, et en attendant une étude basée sur un réseau de stations plus dense, les résultats auxquels nous sommes parvenus doivent être considérés avec attention .

Les deux méthodes employées pour l'étude de la variabilité ne sont pas sans défaut : la première méthode, permettant de visualiser la variabilité d'un élément climatique année par année, n'est pas très convenable pour la

comParaison entre plusieurs stations .Et la seconde méthode, Permettant de surmonter ce dernier obstacle, exprime la variabilité d'une station donnée Par une valeur sans dimension .elle ne Permet Pas de savoir l'année(s) Pendant laquelle les variables étaient très dispersées Par rapport à leur moyenne .

La variabilité des bilans climatiques est, mois d'été à part, très grande .Cette variabilité peut Poser des Problèmes Pour la "Prévision" des hauteurs d'eau d'irrigation .

Que ce soit Pour les ETP, ou Pour les bilans climatiques, la Plaine de Saïs se caractérise Par une variabilité supérieure à celle du littoral .

Soit à l'échelle annuelle, soit Pour les mois allant de d'octobre à mai, la région Nord-Ouest du Maroc se caractérise Par une variabilité du bilan climatique supérieure à celle de l'ETP.

Sur le littoral, la différence en variabilité entre l'ETP, et le bilan climatique Pendant les mois d'été n'est Pas grande .

Pour fixer les idées, nous Proposons d'étudier, sommairement, les grands éléments du bilan hydrique Pendant quelques années représentatives .Cette étude Permettra de concrétiser la variabilité des précipitations, de l'ETP, et des bilans climatiques .

4-5-3-LES BILANS HYDRIQUES PENDANT DES ANNEES CONSECUTIVES .

Nous avons étudié, précédemment, la variabilité des Précipitations, de l'ETP., et du bilan climatique P-ETP. Et nous Présentons dans ce qui suit, et pendant quatre années Prises au hasard, des Graphiques Permettant de visualiser la variabilité des éléments majeurs d'un bilan hydrique .Ces graphiques sont Présentés sur les figures no:25 .Signalons que ces derniers sont riches en informations, mais notre commentaire ne traitera que certains éléments du bilan hydrique dont la variabilité n'est Pas étudiée jusqu'à Présent .Ces derniers sont Précisément la réserve utile et le déficit d'évaporation (ETP-ETR) .

Commençons, d'abord, Par étudier la variabilité de la réserve utile, et ensuite, Par étudier la variabilité de la déficience (1).

Nous Pouvons tirer les renseignements suivants des figures Précédentes :

-Pour les trois stations, aucune courbe représentative de la réserve utile pendant une année ne ressemble à celles des années antérieures ou Postérieures .Cette remarque signifie que la réserve utile, fortement liée aux précipitations, à l'ETP. et à la nature des sols....varie considérablement d'une année sur l'autre .Cette remarque n'est Pas étonnante ; la variabilité de la réserve utile est importante Parce que les éléments qui la déterminent varient, eux aussi, considérablement d'une année sur l'autre .

(1) la déficience est l'équivalent du déficit d'évaporation ETP-ETR .

-Les graphiques illustrent un aspect typiquement méditerranéen de la variabilité de la réserve utile : entre un et trois mois, la réserve utile passe de sa valeur nulle à son seuil maximum (100 mm à Larache, 150 mm à Kénitra et à Fès). Cette remarque peut s'expliquer par l'état brusque qui caractérise les précipitations intenses dans le nord-ouest du Maroc . Cette explication est concrétisée par la station de Kénitra entre septembre et octobre 1968 et par Larache entre septembre et octobre 1973 .

-Dans l'arrière-pays, le nombre de mois consécutifs pendant lesquels la réserve utile se maintient à son maximum est faible par rapport à celui du littoral : 5 mois à Kénitra, 4 à Larache et seulement 3 à Fès . Ajoutons à cette remarque le fait que le bilan climatique P-ETP, un des paramètres déterminant de la réserve utile, dans l'arrière-pays, est inférieur à celui du littoral . Sur 4 années prises au hasard, la différence P-ETP, la plus élevée, était de 200 mm à Larache et à Kénitra, et de seulement 120 mm à Fès . Ces deux remarques peuvent s'expliquer par le fait que les mois les plus pluvieux dans l'arrière-pays sont tardifs et reçoivent moins de pluie par rapport au littoral . Ceci signifie que ces derniers coïncident avec les mois pendant lesquels l'ETP, commence à augmenter . Et c'est cette coïncidence qui, peut-être, laisse la différence P-ETP, et la quantité d'eau emmagasinée par le sol dans l'arrière-pays, inférieure au littoral .

-La réserve utile dans le sol atteint son maximum sur le littoral avant l'arrière-pays : différemment de Larache et de Kénitra qui marquaient leurs capacités aux champs(1) pendant le mois de février au plus tard, le sol à Fès n'était pas saturé avant mars 1973 et avant avril 1974 . Cette remarque pourrait-être due aux précipitations tardives relatées précédemment, qui caractérisent l'arrière-pays.

(1) la capacité au champ est la quantité maximum d'eau qu'un sol peut emmagasiner .

-L'année 1967 se distingue par une réserve utile exceptionnellement faible à Kénitra : le maximum d'eau que le sol a pu emmagasiner était de 69 mm en février . Cette remarque peut s'expliquer entre autres, par les précipitations annuelles "nettement" faibles pendant cette année (554 mm), par rapport à la moyenne de la station (591 mm) . En fait le stock en eau dans le sol à Kénitra se constitue normalement des pluies tombant entre octobre et janvier . Et puisque les pluies pendant ces derniers mois, en 1966-67, étaient inférieures à leur moyenne, la réserve utile restait exceptionnellement faible .

Concernant la variabilité de la déficience, nous soulignons d'après les figures no:25, les remarques suivantes :

-Partout dans notre région, la déficience (ETP-ETR) est grande, surtout pendant les mois d'été . Chaque année, il y a deux à trois mois d'été qui atteignent ou dépassent la déficience de 100 mm . Certaines années, cette déficience dépasse la valeur de 200 mm (juillet et août 1974 à Fès). La déficience marque ses valeurs les plus élevées en été parce que pendant cette saison, l'ETP, atteint ses valeurs les plus élevées et les précipitations et la réserve utile marquent leurs plus faibles valeurs de l'année .

-La variabilité de la déficience est grande : dans toute notre région, la courbe représentative de la déficience pendant une année ne ressemble jamais à celles des années antérieures ou postérieures . En plus, nous constatons que la durée de la déficience est longue : elle varie entre dix mois consécutifs et deux mois à Fès, entre onze mois et deux mois à Kénitra et entre douze mois consécutifs et deux mois à Larache . Donc, la déficience se caractérise par une grande variabilité et une longue durée dans le nord-ouest du Maroc .

-La déficience peut passer dans le délai d'un mois, de sa valeur nulle à plus 120 mm (entre avril et mai 1974 à Fès et à Larache ...). De même, elle peut passer de plus 100 mm à la valeur nulle en moins de un mois (entre septembre et octobre

en 1972 à Fès et à Kénitra en 1969 ...).

De ces deux dernières remarques, nous pouvons tirer deux idées importantes :

La nécessité de l'irrigation pendant une longue période de l'année pour maintenir la production de matière végétale à son maximum .

Le problème de la décision du mois à partir duquel l'irrigation doit commencer et celui de la quantité d'eau nécessaire .

-Le début de la déficience s'observe pendant des mois différents selon les années : sur quatre ans, il s'observait deux années pendant le mois de janvier et deux années pendant le mois de mars à Fès, deux années en janvier, une année en février et une année en mars à Kénitra, et finalement deux années en mars, une année en avril et une année en janvier à Larache . Dans l'arrière-Pays, la déficience s'observe donc, relativement tard par rapport au littoral . Cette remarque peut s'expliquer par les précipitations importantes du début du printemps caractérisant l'intérieur de notre région et maintenant l'ETR, égale à l'ETP.

—
Finalement, la fin de la période de déficience est presque commune pour toute notre région ; elle dépend de l'arrivée des précipitations abondantes (souvent entre octobre et février) . Et vu la grande variabilité qui caractérise les précipitations, la fin de la période de déficience varie elle aussi beaucoup, d'une année sur l'autre .

Conclusion :

La raison justifiant l'emploi de la méthode graphique, malgré la courte durée d'observation (4 ans) (1), est sa qualité de visualiser en même temps la variabilité de tous les éléments majeurs d'un bilan hydrique . Cette méthode a permis de souligner les remarques suivantes :

Typiquement méditerranéenne, la réserve des sols en eau pendant une année est souvent différente par rapport à celles des autres années . Et cette réserve s'observe souvent plus tôt sur le littoral et pendant des mois consécutifs plus nombreux par rapport à l'intérieur .

La région nord-ouest du Maroc souffre chaque année, surtout pendant les mois d'été, d'un grand déficit d'évaporation . Et ce déficit varie considérablement d'une année sur l'autre en durée (mois) et en quantité (volume d'eau) . Finalement, et à cause des précipitations tardives dans l'intérieur de notre région, la déficience, par rapport au littoral, s'observe tardivement .

(1) Vu la courte durée d'observation, les résultats obtenus doivent être considérés avec attention .

4-5-4-LES REGIMES PROBABLES DES DEFICIENCES D'EVAPORATION .

Nous envisageons l'étude des régimes Probables de la déficience d'évaporation (ETP-ETR) Pour les intérêts qu'elle peut fournir à notre travail .Parmi ces intérêts, elle permettra de savoir, avec une Probabilité donnée, le mois à partir duquel doit commencer l'irrigation et le volume d'eau qu'il faut ajouter à la Plante Pour assurer une bonne Production de matière végétale .

Et, rappelons le, la déficience est un Paramètre synthétique ; son calcul nécessite la connaissance de Plusieurs éléments du bilan hydrique .Donc, avoir une idée sur l'état de la déficience signifie qu'on a une idée, avec moins d'effort, sur l'état du bilan de l'eau .

Finalement, la construction des régimes Probables remédie, en Partie, aux inconvénients des régimes moyens et de leurs faibles représentativités (129) .

La méthode des régimes Probables est Présentée ci-haut (2ème Partie) .L'emploi de cette dernière nous a Permis de dresser les figures no:26 à Propos desquelles nous Pouvons signaler les remarques suivantes :

Toute notre région souffre d'un déficit d'évaporation .Et ce déficit est durable ; il est de 8 à 9 mois en moyenne (en considérant les médianes) .

Les valeurs les Plus élevées de la déficience s'observent pendant juillet et aout .Et différemment du littoral, ces deux derniers mois souffrent d'une déficience Presque égale dans l'arrière-Pays .

La déficience des mois allant de juillet à novembre dans l'intérieur est supérieure à celle du littoral .Pendant les mois allant de mars à juin, ce sont les sous-régions du littoral qui l'emportent (quand on considère les médianes) .Cette remarque peut s'expliquer par les précipitations tardives, dans l'intérieur, qui réduisent la différence entre l'ETP. et l'ETR. pendant le Printemps et le début d'été .

Pendant l'été et l'automne, la déficience augmente en allant vers le sud et en s'éloignant de la mer .Mais cette augmentation est moins importante en allant vers le sud qu'en allant vers l'intérieur .Ceci parce qu'en allant vers le sud, on ne s'éloigne pas de la mer et de ses effets modérateurs .Nos figures illustrent cette dernière remarque : la déficience à Larache est inférieure par rapport à celle à Kénitra et à Fès .Et la déficience à Kénitra est inférieure à celle de Fès .

Au Premier abord, on a l'impression que l'irrigation devrait commencer dans l'arrière-pays avant le littoral (une année sur quatre, l'irrigation est nécessaire pendant toute l'année à Fès .Quant au littoral, l'irrigation est inutile pendant les mois allant de décembre à février inclus .Mais en fixant les figures, on constate qu'à Fès comme à Larache, l'irrigation commence une année sur deux au mois de mars et trois années sur quatre au mois de mai .A Kénitra, elle commence une année sur deux à partir du mois de mars et trois années sur quatre à partir d'avril .

Légèrement tardive par rapport à Larache et à Kénitra, l'irrigation ne devient inutile à Fès qu'à partir du mois de novembre .

Donc, l'irrigation commence, moyennement, en même temps (mars) dans toute notre région .Mais, une année sur quatre, elle commence trop tôt (janvier) ou finit trop

tard (décembre) dans l'intérieur, par rapport au littoral .

La quantité d'eau qu'il faut ajouter à la Plante pour combler son déficit d'évaporation dans l'arrière-Pays pendant l'été et l'automne est relativement supérieure à celle qu'il faut ajouter à la Plante sur le littoral au cours de ces mêmes saisons . Pendant le printemps c'est le contraire qui se passe . Prenons, à titre d'exemple, les deux mois de juillet et d'avril . Nous constatons qu'une année sur deux Fès, Kénitra et Larache souffrent, respectivement, d'une déficience de 188, 174 et 168 mm pendant le mois de juillet . Pendant le mois d'avril, cette déficience devient 15, 44 et 45 mm (1). Ces valeurs signifient, d'abord, qu'en été les volumes d'eau nécessaires pour l'irrigation sont importants, et ensuite, qu'ils augmentent en allant vers le sud et en s'éloignant de la mer : une année sur deux le volume d'eau nécessaire pour l'irrigation est de 1880 m³/hectare à Fès, 1740 m³/hectare à Kénitra et 1680 m³/hectare à Larache pendant le mois de juillet . Pendant le mois d'avril, le volume d'eau nécessaire pour l'irrigation est, une année sur deux, de 150 m³/hectare à Fès, de 440 m³/hectare à Kénitra et de 450 m³/hectare à Larache .

En résumé, nos figures permettent de savoir, avec une probabilité donnée, le mois à partir duquel commence l'irrigation et la quantité d'eau qu'il faut apporter. La probabilité d'avoir une déficience d'un tel volume en un mois donné est présentée par les courbes : la courbe enveloppant les deux autres (2) donne la probabilité de fréquence à 25 %, celle du milieu à 50 % et la dernière à 75 % .

(1) Rappelons que la déficience d'un mm signifie que le volume d'eau à irriguer est de 1 litre /m² ou 10 m³/hectare.

(2) La 1ère courbe représente les quartiles supérieurs, celle du milieu des médianes et la dernière les quartiles inférieurs .

Les mois sont indiqués sur l'axe des abscisses et les volumes sont indiqués sur l'axe des ordonnées .

Conclusion : Comme signalé précédemment, les résultats auxquels nous sommes arrivés doivent être prouvés par une étude basée sur un réseau de stations plus denses.

L'ETR. est directement liée aux précipitations et à la réserve utile . Et rappelons que cette dernière a été fixée arbitrairement . Donc, nos résultats sont approximatifs . Ceci n'est pas critiquable puisque notre objectif n'est pas l'application de nos résultats sur le terrain . Nous avons juste cherché une méthode simple et pratique pour étudier l'état de l'humidité dans notre région.

Malgré les durées d'observation différentes, nous nous sommes permis de comparer entre les stations . Ceci parce que ces durées d'observation sont longues . Elles peuvent être considérées comme représentatives.

La déficience ETP.-ETR. est grande dans toute notre région, surtout pendant la saison d'été où elle peut dépasser 200 mm dans l'intérieur et 100 mm sur le littoral .

Pendant l'été et l'automne, la déficience augmente en allant vers le sud et vers l'est .

La durée de la déficience devient longue en s'éloignant de la mer . En moyenne, l'irrigation qui commence en même temps dans tout le nord-ouest marocain (mars), devient inutile sur le littoral avant l'arrière-pays .

CONCLUSION :

Pour des raisons citées dans le texte, nous avons employé la méthode de Penman Pour le calcul de l'ETP. Et nous avons fixé conventionnellement la réserve utile à 150 mm Pour des stations se situant sur des sols argileux et à 100 mm Pour celles se situant sur des sables .

Les résultats obtenus, après l'application de méthodes différentes, Permettent de distinguer deux sous-régions : le littoral et l'arrière-Pays .Entre le nord et le sud de notre région, il n'ya pas de grands contrastes à signaler.

L'ETP, très élevée, surtout Pendant l'été, diminue en se dirigeant vers la mer.

Pendant les mois d'hiver, l'ETP, est fortement liée aux vents maritimes sur le littoral, à l'humidité relative et aux vents froids de montagnes dans l'intérieur .Dans ce dernier, ce sont Presque les mêmes éléments climatiques qui déterminent l'ETP, Pendant l'automne, aussi .

Pendant les mois d'été, l'ETP, dépend dans une large mesure de la température de l'air, de la durée d'insolation sur le littoral et du vent d'est chaud et sec dans l'intérieur .

Pendant le Printemps et l'automne sur le littoral, et uniquement Pendant le Printemps dans l'arrière-Pays, l'ETP, n'est liée à aucun élément climatique en Particulier : tous les éléments du climat ont Presque un même Poids dans l'ETP.

Les mois d'été mis à part, l'ETP, et le

Bilan climatique P-ETP. varient considérablement d'une année sur l'autre. Cette variabilité, qui est plus grande dans l'arrière-Pays, diminue en allant vers la mer. Et la variabilité de l'ETP, reste inférieure par rapport à celle du bilan climatique.

La variabilité du déficit d'évaporation et de la réserve utile est, elle aussi, considérable. Et malgré ses débuts tardifs (mai au lieu d'avril), le déficit d'évaporation dans l'arrière-Pays est plus durable, plus grand par rapport au littoral.

CONCLUSION

Cette étude met en évidence la considérable variabilité inter-annuelle caractérisant les précipitations dans le nord-ouest marocain . Certaines années, les précipitations dépassent le double de la hauteur annuelle moyenne . D'autres années, elles demeurent inférieures à la moitié de cette dernière .

Deux groupes de facteurs provoquent en effet les caprices des pluies : les premiers résultent de l'aérodynamie, les seconds de la géographie "in situ" .

-Vu la position excentrique de notre région, à l'extrême limite sud des westerlies, les masses polaires perturbées n'y pénètrent que par intervalles assez brefs, et toujours en voie de dégénérescence . L'air froid arrive à la fin de sa trajectoire, donc fortement divergent depuis sa source polaire .

Et la situation en altitude crée, vers nos parallèles, une alternance toujours capricieuse des conditions favorables à la pluie . Ainsi, les coulées puissantes, capables de déclencher des précipitations importantes et durables, demeurent exceptionnelles .

-Les facteurs géographiques (surtout la continentalité) exercent un effet climatique efficace dans la mesure où ils dessèchent l'air frais polaire qui pénètre par intervalles . Par là, s'explique l'appauvrissement de la plupart des courants perturbés dès qu'ils s'éloignent de la côte .

Les autres facteurs géographiques (exposition, altitude, distance à la mer, situation latitudinale...) peuvent expliquer les différences signalées entre le littoral et l'arrière-pays : la plaine de

l'intérieur reçoit, pendant l'été, plus de pluie que le littoral. Les séquences pluvieuses sont plus longues sur le littoral qu'à l'intérieur. L'ETP de l'intérieur est élevée par rapport à celle du littoral ...

Ce sont les mêmes facteurs astronomiques et géographiques qui expliquent, directement ou indirectement, la grande variabilité caractérisant l'ETP et surtout les autres termes du bilan hydrique (bilan climatique, déficit d'évaporation, réserve utile,....).

Cette grande variabilité des précipitations et des bilans hydriques est aussi grave que la sécheresse elle-même. Elle gêne la réussite des programmes d'aménagements agricoles.

Rappelons que la variabilité du bilan climatique (P-ETP) est grande (figure no:21-B). Ceci signifie que notre région risque, en même temps, la sécheresse (1979-84) et les inondations (1963...). Ces risques naturels, avec le déboisement massif qui a commencé depuis le début des années soixante dix, pèsent de plus en plus sur l'agriculture vivrière (121). Mais, précisons que la plaine de Saïs risque moins d'inondations que la plaine du Gharb (figures no:25).

Pour lutter contre ces catastrophes naturelles, et dans le cadre de "la politique d'irriguer 1000000 d'hectares", le gouvernement marocain accorde la première importance à la construction des barrages (112).

Le réseau des stations sur lequel est basée notre étude n'est pas bien dense. Et nous souhaitons obtenir, dans un proche avenir, les données des stations qui nous ont fait ici défaut. Nous espérons pouvoir alors cerner de façon plus rigoureuse les aspects de la dynamique du climat dans notre région.

Cependant, nous ne cachons pas le fait que certaines analyses et interprétations puissent être démenties, même par nous-même, dans les travaux que nous envisageons ultérieurement .

LA BIBLIOGRAPHIE

1- Ambrogi.R.et al.(52):Hydrologie du Maroc (Zone française)
Monographies régionales .3eme.Série,n:4
Rabat.Maroc

2- Andre.A.(71):Introduction à la géographie physique de la Péninsule Tingitane
Revue de géographie du Maroc .m:19 .pp:57-76 .

3- André .A. (75):Le littoral atlantique marocain :étude de la géographie physique .
Travaux du C.G.E.R.R. n:6
Univ.de Poitier .pp:57-76

4- Arlery.R.(78):Critique des données climatologiques existantes et estimation des valeurs manquantes ,Particulièrement dans le domaine de la pluviométrie .
Société hydrologique de France .
11eme.journée de l'hydraulique.
Paris. 7Pages (+biblio.)

5- Arlery.R. et al. (73) : Climatologie :méthode et Pratique .
2eme.edition
Gauttier-Villars-Editeur .
Paris

6- Bahraoui-Buret.J.et al.(83):Le gisement solaire marocain .
Société Marocaine des éditeurs Réunis
111p.+cartes.+fig.+tableaux
Rabat.Maroc

7- Besancenot. J-P ,Mounier. J ,Delavenne. F.(78): Les conditions climatiques du tourisme littoral.
Norois.n:99.Poitiers.
PP:357-382

8- Binot.P,Dreasch.J.(65):La Méditerranée
et le Moyen Orient.
Tome:1.2eme.Edition.P.U.F.
Collection:Orbis.
Paris .542P+cartes+figures .

9- Blanchet.Guy.(77):La sécheresse de 1976
dans la région Rhône-ALPES
Rev.Géogr.LYon.n:2.PP:99-115

10- Blanchet.G(82):Le temps dans la région
Rhône-ALPES en 1981.
Rev.Géogr.LYon.n:3.Volume :57
PP:301-321.+4fig.+9tab.

11- Bouchet.R-J(63): Evapotranspiration
réelle ,évapotranspiration Potentielle et Production agricole
Annales Agronomique .n: 14
PP:743-824

12- Bouquet. Ch. (74) : Le déficit
Pluviométrique au Tchad et ses Principales conséquences .
Les Cahiers d'Outre-mer.n:27
PP:245-270

13- Briçon.P.Gerbier.N.(72)Une méthode
Pratique du calcul de l'évapotranspiration Potentielle
Annales Agronomiques .n:23.PP:31-49

14- Brochet.P.Gerbier.N.(77):Une méthode
Opérationnelle ,Pratique du calcul de l'évapotranspiration

Potentielle.

La Météorologie .Vième. serie.Décembre .n:11

.PP :25-31

15- Calvet.V.(70):Le rayonnement solaire globale à la limite de l'atmosphère entre le 30è et le 36è de latitude nord .

Revue de Géographie du Maroc .n:17 .PP124-138 .

16- Calvet.C.(72):Variation séculaire et distribution des Précipitations au Maroc .

Revue de Géographie du Maroc .n:21 .PP:79-94 .

17- Calvet.C.(79):InterPrétation de la notion d'étage selon la notion de L.Emberger .Application au Maroc .

Bulletin de l'Association des Géographes Français .n:464 .PP:331-339 .

18- Calvet.C.(81):Les évapotranspirations réelles et Potentielles et leurs rapports avec la végétation naturelle sous climat méditerranéen et tropical aride .

La Météorologie .Vième serie .n:27 .PP:61-73 .

19- Cancianh. O. Dadv. L.(81) : Les Pluies maximales de courtes durées dans le bassin du LEZ .

Eaux et climats .mélanges offerts en hommage à Ch-P.Féguy .

PP:117-130 .

20- Cazale.H.(60):Données de climatologie dynamique du Maroc .

Brochure nonotée du service météorologique du Maroc .

Casa-Blanca .

21- Chamard. P-C. Courel. M-F. (83) : Les variations spatiales et temporelles des Précipitations au Sahel .

Hommes et Terres du Nord .n:3 .pp:15-23 .

22- Charre. J. Dumolard. P. (73) : Essais de classification synthétique du climat de la Turquie . Méditerranée .n:3 .pp:51-65 .

23- Charre.J.(77):A Propos de sécheresse Revue de Géographie de Lyon .n:2 .pp:215-226 .

24- Charre.J.(81):Essai de mesure de la régularité des régimes Pluviométriques en France . Eaux et Climats ,mélanges offerts en hommage à CH-P.Péguy . pp:131-141 .Grenoble .

25- Choissel.E.(85):Cycle de l'eau dans l'atmosphère et rôle des zones forestières . Météorologie .VIIème série .n:9 .pp:37-50 .

26- Colin. E. Bedel. J. (80) : Essais d'ajustements régionaux sur les intensités de Pluie . Météorologie .VIème série .n:20-21 .Mars-Juin pp:151-160 .

27- Collignon.J.(65):Les côtes et le Plateau continental marocain . Bulletins de l'Institut de Pêche Maritime du Maroc .n:13 .pp:21-37 Casa-Blanca ,Maroc .

28- Conac.F.(85):Irrigation moderne et agriculture irriguée au Maroc ,analyse et réflexions . Annales de Géographie .n:526 .94ème année .pp:723-731 .

29- Cosandey.C.(81):Calcul à Postérieur de la réserve en eau des sols utilisée par la végétation durant l'été :une approche de l'ETR . Recherches Géographiques à Strasbourg .n:13-14 .

pp:115-120 .strasbourg .

30- Cote.M. Legras.J.(66): La variabilité
Pluviométrique inter-annuelle au Maroc.
Revue de Géographie du Maroc .n:10 .pp:19-29 .

31- Couvreur.F-Laraïchi.(72): Les
Précipitations dans quelques stations de la mer d'Alboran .
Revue de Géographie du Maroc .n:21 .pp:85-103 .

32- Dachary.M.(73):Précipitations et
écoulement dans le bassin supérieur de la Loire en amont de
Gien .
Thse .Univ.de Bretagne Occ.
619p .

33- Debrach.J.(53):Notes sur le climat du
Maroc Occidental .
Marc Médical .n:32 .pp:1122-1134
Institut Scientifique Chérifien .
Casa-Blanca .Maroc .

34- Debrichambaut.G.Perrin.(59):Agriculture
en zone aride et indice climatique.Proposition pour une
délimitation de la zone aride .
Notes Marocaines .n:11 & 12 .pp:33-40 .

35- Delannoy.H.(67): Aperçus sur les
publications intéressant le climat du Maroc .
Revue de Géographie du Maroc .n:12 .pp:151-160

36- Delannoy.H .Lecompt.M .Romane.F.(79):
Géographie des températures quotidiennes dans le Moyen Atlas
et ses bordures .
L'Espace Géographique .n:1 .pp:25-41 .

37- Delannoy.H.Lecompte.M.(80):Utilisation

de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des précipitations quotidiennes : un exemple au Maroc .
Méditerranée .n:4 .pp:29-36 .

38- DelannoY. H.(80): Remarques sur les brouillards d'été dans quelques stations côtières du Maroc .
Méditerranée .n:4 .pp:37-47 .

39- DelannoY.H.(81):Quelques réflexions à propos de l'analyse factorielle des correspondances des précipitations mensuelles de stations côtières marocaines .
Eaux et Climats ,mélanges offerts en hommage à Ch-P.Péguy .
pp:165-177 .Grenoble .

40- DelannoY.H.(82):Introduction à l'étude des relations entre les températures des eaux océaniques et les précipitations côtières marocaines .
Nordois .n:116 .pp535-545 .
Poitiers .

41- DelannoY.H .Douguédroit.A.(84): Les variations printanières dans les S-W.européen et le Maghreb Occidental (1916-65).
Revue Géographique de l'Est .n:1 .pp:47-63 .

42- Delorme.C-A.(63): Répartition et durée des précipitations en Afrique Occidentale .
Monographie de la Météorologie .n:28 .
5P.+cartes.+20 tableaux .Paris .

43- Depois.J.Raynal.R.(67):Géographie de l'Afrique du Nord Ouest .
Payot .Paris .
510P.+cartes et figures .

45- Dion.J. (72) : Etude fréquentielle des
Précipitations mensuelles du nord-est de la France .
Revue Géographique de l'Est .no:2-3 .pp:175-222

46-Deruffray.F. Brisse.H. Granjean.G : (81)
Un Procédé des estimations des données manquantes fondé sur
les corrélations climatiques entre postes voisins .
La Météorologie .VIème série .no:24 .pp : 47-59 .

47-Direction de l'hydraulique (73) :Etude
de la Protection du Gharb contre les inondations .
Mission I . Chapitre :Hydrologie Naturelle .
Ministère des Travaux Publics et des Communications .
Rabat .Maroc .
36p.+ biblio., tabl. et fig .

48- Donize.L.(83):Quelques remarques
concernant les anomalies Pluviométriques .
Bulletin de l'Association des Géographes Français .n:494
.pp:119-130 .

49- Douquedroit.A.(83):Un siècle de
sécheresse estivale à Marseille .
Hommes et Terres du Nord .n:3 .pp:34-38.

50- Doumenge.F .(83): Déséquilibre
hydroclimatique et catastrophe dans le Pacifique
inter-tropical.(Juillet 82-Avril 83).
Annales de Géographie .n:512 .pp:403-413 .

51- Dreisch.J.(69):Les changements de
climat et les mouvement de sol en Afrique du Nord au cours du
Plio-Quaternaire .
Informations Géographiques .n:3 .pp:107-113.

52- Dubreuil.P.(74):Initiation à l'analyse

hydrologique .

Masson & Compagnie .O.R.S.T.O.M. 216 p .Paris .

53- Durand.J-H.(77): A Propos de la
sécheresse et ses conséquences au Sahel .

Les Cahiers d'Outre-mer .n:117 .

Volume :30 .pp:383-403 .

54- Durand-Dastes.F.(79):Ordre de grandeur
des systèmes de circulation atmosphérique et explication des
climats :l'exemple de l'Inde .

Espace Géographique .n:1 .pp:15-23 .

55- ERIMISCO.P.(65):La mer et l'atmosphère
des côtes marocaines .

Bulletins de l'Institut des Pêches Maritimes du Maroc .n:13

pp:3-20 .Casa-Blanca .

56- Erpicum.M .Alexandre.J .(63): La
variabilité intra et inter-annuelle des extrêmes journalières
de température :Proposition d'une méthode de travail .

Hommes et Terres du Nord .n:3 .pp:3-7 .

57- Escourou.G.(78):Climatologie Pratique .

Masson & Compagnie .Paris .

59- Féilice.P .Viltard.A .Camara.M.(62):
Vapeur d'eau dans la troposphère en Afrique de l'Ouest .

Météorologie .Vième serie .n:29-30 .pp:129-134 .

60- Féodoroff.A.Rafi.M.(63):Evaporation de
l'eau à partir du sol nu :rôle de l'état structural .

Annales Agronomiques .n:14 .pp:601-613 .

61- Flouriot.J.(72):Le Périmètre agricole
de Loukkos .

Revue de Géographie du Maroc .n:21 .pp:31-41 .

62- Fontaine.P.(64): Bassins fluviaux de moyenne importance : "essai d'évaluation de la capacité de rétention globale du sol .".
Monographie de la Météorologie Nationale .n:37 .pp:1-10.
Paris .

63- Frankenberg.P.(80): Evapotranspiration bilan de l'eau et variabilité des précipitations en Tunisie en relation avec l'agriculture .
Méditerranée .n:4 .pp:49-55 .

64- Galloy.E .Martin.S .Lebreton.A.(82)
:Analyse des séquences de jours secs consécutifs :application à 31 postes du réseau météorologique français."
Météorologie .Vième série .n:28 .pp:5-24 .

65- Galloy.E.(82): Contribution à l'étude de la sécheresse "modélisation des séquences climatologiques sur un réseau de stations couvrant l'ensemble de la France ."
Thèse de 3ème Cycle. Univ.Sci.Méd.Grenoble .139p.

66- Garnier.M.(63): Nombre moyen de jours de Pluie en France .
Monographie de la Météorologie Nationale .n:29 .
Paris .

67- Gausser.H .Debrach.J .Joly.F.(66)
:Précipitations annuelles .
Atlas du Maroc .(notice explicative)
Planche n:4-a .36p .Rabat .Maroc .

68- Gharbaoui.A.(76): La Terre et l'Homme dans le Hapt de Larache .
Hommes,Terres et Eaux .n:21 .pp:13-33 .

69- Gharbaoui.A.(79): Adaptation

l'adaptation, facteurs limites et facteurs de dépassement dans la Péninsule de Tanger .

Revue de Géographie du Maroc .n:3 .pp:45-52 .

70- Gharbaoui.A.(82):La Terre et L'Homme dans la Péninsule Tingitane .

Thèse .Univ.Mohammed V .Rabat .Maroc .

362P(+biblio.Photos et cartes hors-texte.)

71- Goerig.A(79):Etude climatique de la sécheresse dans la Plaine de l'Alsace .

Thèse de 3ème Cycle .Univ.L.Pasteur .Strasbourg .

Texte :188P+annexe .

72- Gravier.J.(83) : Chroniques climatologiques de Maine ."Printemps-été 82".

Norois .Tome :30 .n:118.pP:285-292.Poitiers.

73- Griselin.N.(85):L'abondance annuelle et le bilan hydrologique d'un bassin versant partiellement englacé de la côte N-W.de Spiteberg .

Norois.n:125 .pp:19-33 .Poitiers.

74- Grosse.J-Y ,Givonne.G,Givonne.P ,Colin.E ,Oberlin.G ,Schwartz.J .(80):Crues et assainissement :analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes métropolitains .

Météorologie .VIème serie .n:20-21 .Mars-Juin .pp:161-168 .

75- Groupe Chadoule.(74) : Initiation aux méthodes statistiques en géographie .

Coll.Géogr. Masson et Compagnie .191P .

76- Guiscafré.J.(80): Hauteurs - Durées - Récurrence à la Martinique .

Météorologie .VIème serie .n:20-21 .Mars-Juin .pp:169-190 .

- 77- Hénia.L.(66):La variabilité spatiale
des Pluie en Tunisie .
Bulletins de l'Association des Géographes Français .n:2
.pp:141-147 .
- 78- Hufty.H.(76): Introduction à la
climatologie .
MAGELLAN - P.U.F. Paris. 264P
- 79- Hufty.A.(81):Les types de temps à
Alger:"analyse multivariée ."
Météorologie .VIème serie .n:26 .pp:93-109 .
- 80- Isnard.H.(58): La répartition
saisonnière des Pluies au Maroc .
Annales de Géographie .LXIII .pp:39-42 .
- 81- Joly.F.(57): Les milieux arides
.définition,extension .
Notes Marocaines .n:8 .pp:15-30.Rabat. Maroc
- 82- Joly.F.(59):Notes sur le calcul des
indices de Thornthwaite.
Notes Marocaines .n:21 .pp:5-14.Rabat.Maroc
- 83-Joly.F.(62):Etude des indices de
Thornthwaite pour quelques stations du Maroc .
Service de Physique de Globe et de Météorologie .Annales
Tome:XXVIII.pp:119-131.
Institut Scientifique Chérifien . Rabat .Maroc.
- 84- Khazaal.N.(81):Recherches sur les
climats méditerranéens Français .
Thèse 3ème Cycle .Sorbonne .Paris .
Texte:206P .annexe:160P
- 85- Kontur.I .Winter.J.(81): Analyse

statistique des périodes de sécheresse .
La Houille Blanche .n:7-8 .pp:605-607 .

86- Kouame.K.(84):La variabilité des
Précipitations :analyse des séquences sèches et pluvieuses
dans le bassin de N'ZI (Côte-d'Ivoire)
Mémoire de D.E.A. Univ.Sci.É.Téch. U.E.R.Géogr. Lille:I
texte 57P,annexe 41P .

87- Kuyper.P.(67):Hydraulique de
Fès-Méknès.
Office National d'Irrigation .13P,3fig.,5tab.
Ministère de l'Agriculture .Rabat .Maroc

88- Lakmaharri.A.(81):Evapotranspiration
Potentielle et bilan hydrique dans quelques stations côtières
du Maroc .
Thèse 3ème Cycle .Grenoble .
Texte:334,annexe:297 .

89- Lebreton.A.Martin.S.(79):Un modèle pour
l'étude des séquences climatiques .
Séminaire de Statistiques .Volume :1 .13P.+tab.et fig.
I.M.A.G. Univ.Sci.Med. Grenoble .

90- Lecarpentier . C . (75) : L'évapo-
transpiration Potentielle et ses implications géographiques .
Annales de Géographie .n:463.LXXXIV .année .pp:257-274
(suite:Annales de Géographie .n:464 .pp:385-413)

91- Legoff..Y.(85): Evolution contemporaine
de la température au Maroc .(1936-80) .
La Météorologie .VIIème série .n:6 .pp:37-45 .Paris .

92- Lejeune, C. De Saintignon, M-F. (79):
Les précipitations anormales de Février à Avril 1970 dans le
nord des APles françaises .
Revue de Géographie de Lyon . n:3 . pp:215-242 .

93- Lelièvre .V. (80): Analyse de
l'utilisation des séquences distinctes lors de calcul des
probabilités de séquences de N jours .
La Météorologie .Vième série .n:22 .pp:67-70 .

94- Loup, J. (57): Notes sur l'évaporation au
Maroc .
Revue de Géographie Alpine .Tome VLV .pp:351-379 .

95- Madec, H. (69) :L'évapotranspiration
potentielle et le bilan de l'eau en Guyane .
Monographie de la Météorologie Nationale .n:39 .Paris .

96- Mahéras, H. (84): Situations synoptiques
et types de temps journaliers à Tessalonique .
Annales de Géographie .n:528. 93ème année .pp:649-665

97- Marchad, J.P. (81): La variabilité de
l'organisation mensuelle des précipitations : L'exemple de
Dublin-Choénix (1838-1976) .
Eaux et Climats (mélanges offerts en hommage à Ch-P. Peguy
.pp:325-338 . Grenoble .

98- Maria, S. (80): Géochimie et minéralogie
des sédiments fins de l'estuaire de Loukkos (Côtes
Atlantiques Marocaines) .Contribution à l'étude d'un
éco-système estuarien.
Thèse de 3ème cycle de géologie .Univ. Mohammed V. Faculté des
Sci. de Rabat .Maroc.

99- Martin, S .Saintignon, M-F. (74):

Application de l'analyse factorielle en composante principale
à l'étude de la variabilité régionale et inter-annuelle des
précipitations Ardéchoises .

Revue de Géographie de Lyon .n:46 .pp:77-82 .

100- Miossec. A. (75) : Les pluies
exceptionnelles de Mars 1973 en Tunisie .

Bulletin de l'Association des Géographes Français .n:422-423
.pp:279-288 .

101- Mounier. J. Péguy. Ch-P. (68) : Une méthode
de recherche climatique : l'analyse fréquentielle des
précipitations tombées en 24 heures .

Annales de Géographie .n:424 .pp:711-720 .

102- Mounier. J. (65) : Les besoins d'eau
d'irrigation d'après Thornthwaite : essai d'application à la
Bretagne .

Norois .n:48 .pp:437-448 .Poitiers .

103- Mounier. J. (77) : Aspects et fréquence de
la sécheresse en Bretagne : essai de définition de la
sécheresse en Europe Occidentale .

Revue Géographique de Lyon .n:2 .pp:167-176 .

104- Mounier. J. (77) : Les climats océaniques
des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal .

Thèse .Univ. Rennes II

3 tomes : 1221p. + annexe .

105- Muray. R. Spiègle. (83) : Théorie et
application de la statistique .

Série Schaum .Edition Française Par : Ergas. A
.Marcotororochona. J-F. Paris .

106- Musset. R. (35) : Les calculs relatifs aux
régimes pluviométriques : fraction pluviométrique , écart

Pluviométrique relatif et Pluviométrie relative.
Etudes Rhodanniennes .XI .PP:75-85 .

107- Musset.R.(43):La distribution des
Pluie en France selon les saisons .
Annales de Géographie . Tome :LII .PP:264-283

108- Najjar.G.(81):Essai de spatialisation
de l'ETP dans le bassin versant de RINGEL-BAGH .
Recherches Géographiques à Strasbourg .n:13-14 .PP:55-62
.Strasbourg .

109- Noin.D.(61):La neige au Maroc .
Notes Marocaines .n:15 .PP: 5-11 .
Rabat.Maroc .

110- Normand.M.(81):La sécheresse dans le
Sais et le Moyen Atlas :quelques éléments d'appréciation
chiffrés
Service de l'Hydrologie .Division des ressources en eau
Direction de l'Hydraulique .Ministère de l'équipement .
Rabat.Maroc .206P,6 tab.et 10 fig.

111- Normand.M.(83):Les ressources en eau
et la sécheresse dans le Sais et le Moyen Atlas .
Division des ressources en eau .Direction de la recherche et
de la Planification des eaux .Administration de l'Hydraulique
.Ministère de l'Equipement .Fès .Maroc .35P et 20 fig.

112- O.N.I.(62):Aménagement du bassin de
l'Oued Loukkos .Rapport de synthèse .Mission régionale du
Loukkos .
Direction des Etudes Générales .Rabat .Maroc .
43P.cartes et fig.

113- O.R.M.V.A.L.(71):Projet d'aménagement
et de mise en valeur du Périmètre de Loukkos .(rapport)

Bureau d'Etude .Ksar-Kébir.Maroc .

8P.

114- O.R.M.V.A.L.(74) : Développement agricole dans le périmètre de Loukkos (rapport en Arabe) .

Bureau d'Etude .Ksar-Kébir.Maroc

6P.4fig.

115- O.R.M.V.A.L.(74):Projet d'aménagement agricole dans le secteur de Loukkos .(rapport en Arabe).

Bureau d'Etude .Ksar-Kébir.Maroc.

14P.3 cartes .

116- O.R.M.V.A.L.(82):Etude Pluviométrique du Périmètre de Loukkos .

Service Météorologique .Bureau d'Etude .Ksar-Kébir.Maroc .

16P.15 fig.,7 tab.

117- Pagny.F.(76):Les climats de la terre.

Masson .Paris .145P.

118- Papy.F ,Quassiblé.M ,Jouve.Ph.(81):Les contraintes pédoclimatiques à l'explication agricole des zones semi-arides et arides du Maroc .

Revue de Géographie du Maroc .n:5 .PP:121-133 .

119- Parfonny.R.(79):Besoins en eau des cultures .(note explicative)

O.R.M.V.A.L. Bureau d'Etude .Ksar-Kébir .Maroc

5P.8 tableaux .

120- Parfonny.R.(80):Détermination des besoins en eau des cultures .

O.R.M.V.A.L. Ksar-Kébir .Maroc .

14P.,2 fig.,2 tab.

121- Pascon.P.(79): De l'eau du ciel à

l'eau de l'Etat : Psychologie de l'irrigation au Maroc .

Hérodote .n:13 .PP:68-78 .

122- Pédélaboré.P., Delannoy.H. (58):

Recherches sur les types de temps et le mécanisme de Pluie en Algérie .

Annales de Géographie .n:361 .PP:216-243 .

123- Pédélaboré.P. (68): Les bilans

hydriques.

Cahier de Géographie de Québec .n:25 .PP:5-23 .

124- Pédélaboré.P. (75): Les bilans d'énergie et les problèmes hydriques .

Géographie et Recherche .n:16 .PP:3-10 .

125- Pédélaboré.P. (75): Les bilans d'énergie de la terre et de son atmosphère .

Géographie et recherche .n:14 .PP:3-20 .

126- Pédélaboré.P. (83): Introduction à l'étude scientifique du climat .

S.E.D.E.S. Paris .

127- Péguy.Ch-P., Mounier.J. (68): Une méthode de recherche climatique : l'analyse fréquentielle des pluies tombées en 24 heures .

Annales de Géographie .n:424 .LXXVII année .PP:711-720 .

128- Péguy.Ch-P. (70): Précis de climatologie.

Masson & Compagnie .2ème édition .Paris .

129- Péguy.Ch-P. (76): Une nouvelle expression graphique de la variabilité inter-annuelle des climats "les calendriers de probabilités" .

Bull.Associa.Géogr.Frans. n:431.PP:5-16 .

- 130- Péguy.Ch-P. (79) : Ordre et désordre des climats
L'Espace Géographique .n:1 .PP:5-14 .
- 131- Péguy.Ch-P Mounier.J
.Douguédroit.A.(83) : Cartographie et modélisation des éléments du climat en France .
Annales de Géographie .n:516 .PP:204-217 .
- 132- Peignon.Guy.J.(70) : La crue de Sebou de Décembre 1969-Janvier 1970 .
Revue de Géographie du Maroc .n:17 .PP:125-133.
- 133- Perret.M.(62) : Aménagement du bassin de l'Oued Loukkos .(rapport Préliminaire III-Hydrologie)
Direction des études générales .
Office National d'Irrigation .Rabat .Maroc .
29p.
- 134- Petit-Renaud.G.(74) : Brumes et brouillard dans le nord de la France .
Cahier de Géographie Physique .n:2 .
Institut de Géographie .Univ.Sci.Téch.Lille
- 135- Petit-Renaud.G.(80) : Analyse des Précipitations de 1 à 6 jours dans la région Nord-Pas-De-Calais
Univ.Sci.Téch.Lille .U.E.R. Géographie .Laboratoire de Climatologie-Hydrologie.
- 136- Petit-Renaud.G.(80) : Les Principaux aspects de la variabilité des Précipitations dans le nord de la France .
Recherches Géographiques à Strasbourg .n:13-14 .PP:31-38 .

137- Petit-Renaud.G.(83) : Remarques sur l'homogénéité des précipitations et l'analyse de leurs évolutions en Scandinavie .
Hommes et Terres du Nord .n:3 .pp:45-54 .

138- Peyron.M.(80) : Les chutes de neige dans l'Atlas marocain .
Revue de Géographie Alpine .n:3 .Tome : LXVIII .pp: 237-254 .

139- Poncet . J . (70) : La "catastrophe" climatique de l'automne 1969 en Tunisie .
Annales de Géographie .n:435 .Sept.-Octobre .LXXIV année .pp:581-595.

140- Racine.J-B,Réymond.H.(73):L'analyse quantitative en géographie .
Collection S.U.P. P.U.F. Paris .

141- Rémériéras . G . (60) :Eléments d'hydrologie appliquée .
Armand-Collin . Paris .
206 P

142- Rémériéras. G .(77) :Hydrologie de l'ingénieur .
2ème édition .Collection : Direction des Etudes et Recherches d'Electricité en France .n:6 .
453P .

143- Riou.Ch.(81) : Nébulosité et durée d'insolation en Tunisie .
La Météorologie .VIème série .n:27 .pp:11-13 .

144- Riou.Ch.(81) : Notes sur la détermination du rayonnement atmosphérique en Tunisie et ses conséquences sur le calcul de l'ETP .

La Météorologie .VIème série .n:27 .PP:15-18

145- Rousseau .D.(81) : Préviation des
Précipitations Par les modules numériques de météorologie
dynamique .

La Houille Blanche .n : 7-8 .PP:513-517

146- Saloui.A (84) : Contribution à l'étude
de la variabilité des Précipitations dans le département de
la Somme .

Mémoire de D.E.A. de géographie .

U.E.R. de géographie . Univ. Sci. & Tech. LILLE .

147- Sanson-Carette. A.(53) : Analyse
statistique des séries d'observations Pluviométriques .

La Météorologie . Vè série .n:29 .PP:16-37 .Paris .

148- Sauvage .Ch.(63) : Etages
bio-climatiques .Atlas du Maroc (Notice explicative) .

Planche n:6-b

Comité National de Géographie du Maroc

Rabat .Maroc .

31P. tab.,fig.hors texte .

149- Seltzer.P. (53) : La carte des Pluies
annuelles Probables en Algérie .

La Météorologie .IVème série .n:29 .PP:73-76

150- Service Géologique du Maroc (71) :
Ressources en eau au Maroc .

Domaine du Rif et du Maroc oriental .

Tome : 1 .321P .Rabat .Maroc .

151- Sneyers.R.(63):Sur la détermination de
la stabilité des series climatologiques .

Insitut Royal Météorologique de Belgique .

Contribution n:81 .Bruxelles .PP:37-44 .

152- Studer.R.(61):Méthode de détermination
des réserves hydriques des sols .
Annales Agronomiques .n:12 .pp:599-608 .

153- Serge.M.(82):L'informatique dans la
réalisation des calendriers de Probabilités .
Informations Scientifiques et Humaines .12ème année .n:48
.pp:59-74 .Grenoble .

154- Tabeaud.M.(80):Quelques aspects des
bilans hydriques au Mali .
Annales de Géographie .n:491 .89ème année .pp:37-56 .

155- Trendel.R . Rambaldelli.B
.Lecavil.B.(78) :Méthode de critique des données
Pluviométriques quotidiennes .
Monographie de la Météorologie Nationale .n:102 .Paris .

156- Trzpit.J-P.(80):La Méditerranée un
creuset d'humidité .
Méditerranée .n:4 .pp:13-28 .

157- Turc.L.(61):Evaluation des besoins en
eau d'irrigation (évapotranspiration Potentielle) .
Annales Agronomiques .n:12 .pp:13-49 .

158- Vigneau.J-P.(Haut VallésPir)vallée de
la Pluie :introduction à une recherche des mécanismes
Pluviométriques dans une vallée catalane .
Eaux et Climats (mélanges offerts en hommage à Ch-P.Péguy
.pp:561-572 .Grenoble.

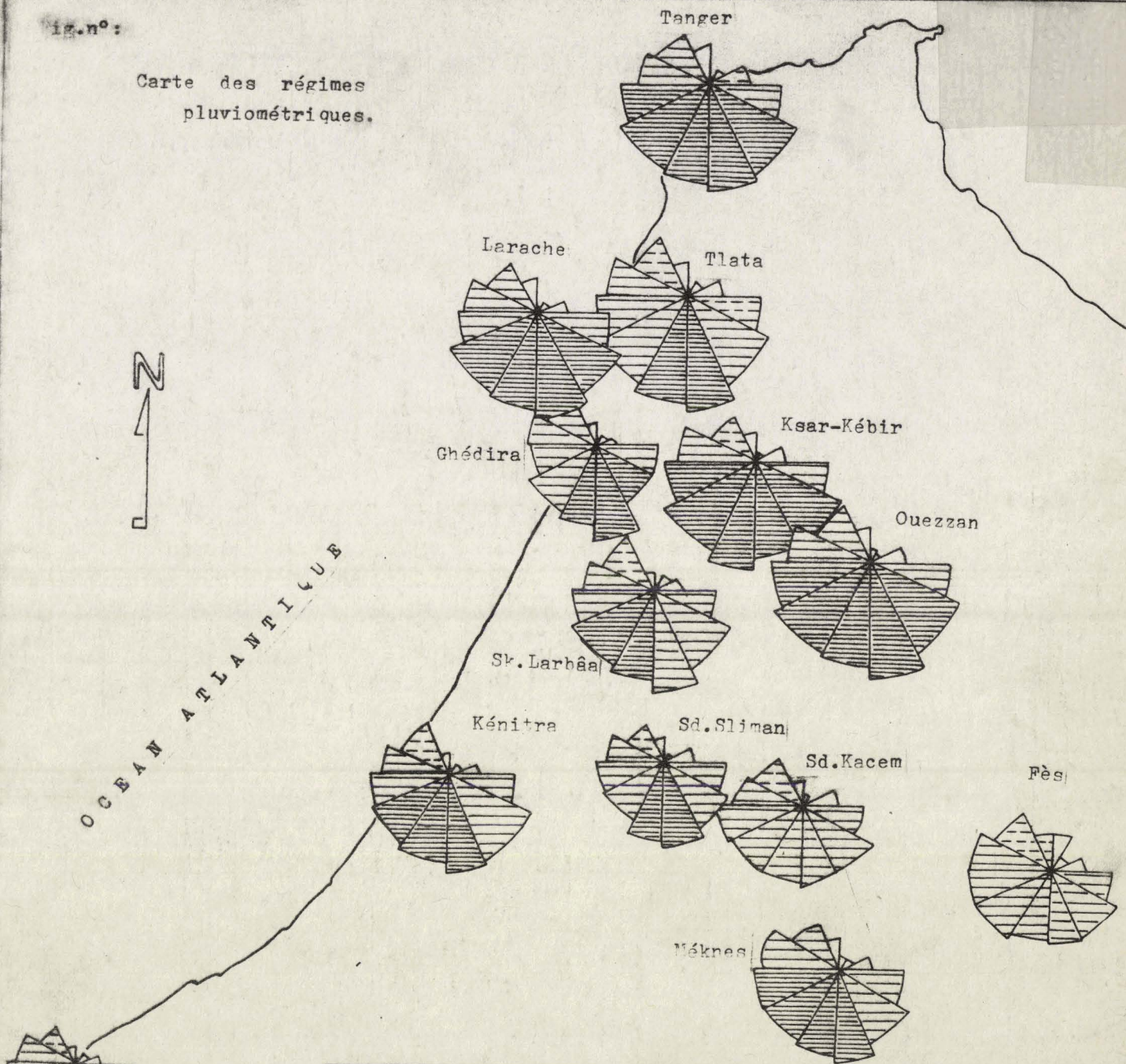
159- Vivian.H.(77):L'hydrologie Nord-Alpine
et la sécheresse de 1976 .
Revue Géographique de Lyon .n:2 .pp:117-151 .





160- Vivian.H.(81): L'épisode Pluvieux
exceptionnel du mois d'Octobre 1979 dans les Alpes du Sud .
Eaux et Climats :mélanges offerts en hommage à Ch-P. Réguy .
PP:573-583 .Grenoble .

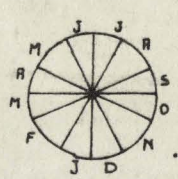


fig. n°:


Carte des régimes pluviométriques.




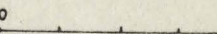
-  mois très humides.
-  mois humides.
-  mois secs.
-  mois très secs.



Schémas stationnels

 $R = 2\sqrt{P}$

 = 50 mm

0  45 Km.